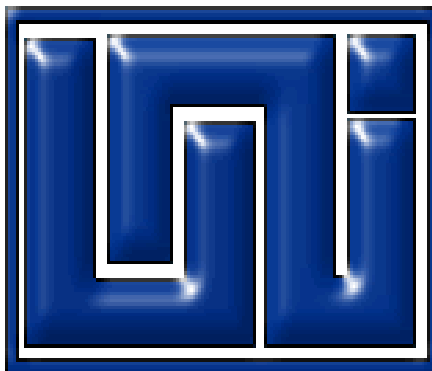


**UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA
FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA**



**“ESCALAMIENTO DEL PROCESO DE OBTENCIÓN DE QUERATINA A PARTIR
DE PLUMAS DE POLLO POR EL METODO SULFURO DE SODIO”**

PRESENTADO POR:

Br. Mileydi Carolina Picado Hernández.

PARA OPTAR AL TÍTULO DE INGENIERO QUÍMICO

TUTOR

MPa. Denis Escorcía Morales

Managua, Nicaragua 2016

AGRADECIMIENTO

A Dios por haber sido mi luz y fortaleza en este camino, a mi familia que sin dudarlo me regalaron parte de su tiempo, apoyándome incondicionalmente ante todas las adversidades para avanzar hasta la culminación de este trabajo.

A mi tutor **MSc. Denis Antonio Escorcía Morales** por brindarme su continua y cercana ayuda incondicional para que este trabajo monográfico pudiese ser desarrollado y concluido.

A todos aquellos que aunque no haya podido nombrar han sido partícipes de que yo haya llegado a completar esta etapa.

GRACIAS.

RESUMEN

El objetivo principal del presente trabajo es realizar un escalamiento del proceso de obtención de queratina a partir de plumas de pollo, por el método del sulfuro de sodio.

La optimización de los reactivos involucrados en la extracción de queratina fue realizada en un trabajo previo por Marín y Hernández en 2015 y ha sido verificado a nivel experimental en el presente trabajo.

El escalamiento del proceso de extracción de queratina a nivel de planta piloto se realizará en base a 500 Kg de plumas de pollos. Se realizó el estudio tomando dos posibilidades: uno utilizando dos tanques reactores y otro utilizando un solo tanque reactor.

Sistema con dos reactores: La parte medular del proceso costara dos tanques reactores en donde se llevará a cabo la reducción con Na_2S en el primero y la oxidación en medio ácido en el segundo. El sistema constará de un tanque de abastecimiento de agua destilada, así como tanques de almacenamiento de reactivos, los que serán bombeados hasta el reactor uno y reactor dos, según la etapa del proceso. La queratina será obtenida como una solución de queratina y será recogida en un tanque interconectado al reactor 2.

Sistema con un solo reactor: Tanto la etapa de reducción como la oxidación se llevarán a cabo en el mismo reactor pero manteniendo el orden en cada una de las etapas del proceso hasta obtener la queratina.

El análisis técnico-económico de la planta piloto para la obtención de queratina se realizara en base a las cantidades gastadas de reactivos para el procesamiento de 500 Kg de plumas, tanques, equipos, materiales y accesorios necesarios para el montaje de la misma, encontrándose que se debe tener una inversión inicial de C\$ **851052.61** (USD **28913.24**) para el montaje de la planta piloto empleando dos

reactores y procesamiento de 500 Kg de plumas. Para el diseño empleando un solo reactor se debe tener una inversión inicial de C\$ **568467.49** (USD **19312.83**)

La ubicación de la planta se ha propuesto considerando su cercanía con diferentes granjas avícolas lo cual facilitará la obtención de la materia prima.

TABLA DE CONTENIDO

LISTA DE TABLAS	6
LISTA DE FIGURAS	7
I. INTRODUCCIÓN	8
II. OBJETIVOS	11
2.1. Objetivo general	11
2.2. Objetivos específicos	11
III. MARCO TEÓRICO	12
3.1. Generalidades de la Queratina y de las Plumas de Pollo.	12
3.1.1 Las Proteínas.	12
3.1.2 Características de las Proteínas.	12
3.1.3 Conformación de las Proteínas.	13
3.1.4 Estructura de las Proteínas.....	14
3.1.4.1 Estructura Primaria.	14
3.1.4.2 Estructura Secundaria.	15
3.1.4.3 Estructura Terciaria.....	16
3.1.4.4 Estructura Cuaternaria.	17
3.1.5 La Queratina.	17
3.1.5.1 Estructura de la Queratina.....	18
3.1.5.2 Reacciones Químicas de la Queratina.....	20
3.1.5.3 Hidrolisis de la Queratina.	21
3.1.6 Características de las Plumas de Pollo.	21
3.2 Principios Básicos de Escalamiento.....	22
3.2.1 Escala Piloto	23
IV. METODOLOGIA	25
4.1 Obtención de la Materia Prima.....	25
4.2 Lavado y Secado de la Materia Prima.	25
4.3 Reactivos.	26
4.4 Preparación de Disoluciones	26
4.5 Materiales de Laboratorio	28
4.6 Extracción de queratina	29
4.7 Recolecta del producto final.....	29
4.8 Optimización de Reactivos.....	29
4.9 Cálculo de Variables de Diseño.	32
4.9.1 Etapa de Reducción.	33
4.9.2 Etapa de Oxidación.....	33
4.9.3 Etapa de Acidificación-Neutralización.....	34
4.9.4 Cálculos para el Escalamiento de los Equipos y Tanques.....	35
4.10 Ubicación del Escalamiento de la Planta Piloto.	37
4.11 Determinación de los Costos para el Montaje de la Planta Piloto.	38
V. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	39
5.1 Extracción de queratina a nivel de laboratorio	39

5.2	Propuesta técnica de la planta piloto	40
5.2.1	Extracción de queratina en base a 500 kg de materia prima	41
5.3	Dimensionamiento de los equipos para un diseño de planta con dos reactores e introducción de reactivos por bombeo.	43
5.4	Proceso tecnológico de queratina para un diseño de planta con dos reactores e introducción de reactivos por bombeo.	48
5.4.1	Preparación de reactivos	48
5.4.2	Obtención, lavado y pesaje de materia prima	49
5.4.3	Diagrama de flujo	49
5.5	Análisis económico para un diseño de planta con dos reactores e introducción de reactivos por bombeo.	51
5.5.1	Costos de Reactivos	52
5.5.2	Costos de equipos mayores y tanques	53
5.5.3	Costos de Materiales y accesorios	54
5.5.4	Costo total para el montaje de la planta piloto con dos reactores e introducción de reactivos por bombeo.	55
5.6	Proceso tecnológico para un diseño de planta con un reactor e introducción de reactivos manual	56
5.7	Análisis económico para un diseño de planta con dos reactores e introducción de reactivos por bombeo.	58
5.7.1	Costos de Reactivos	58
5.7.2	Costos de equipos mayores y tanques	59
5.7.3	Costos de Materiales y accesorios	60
5.7.4	Costo total para el montaje de la planta piloto con dos reactores e introducción de reactivos por bombeo.	61
VI.	CONCLUSIONES	62
VII.	RECOMENDACIONES	64
VIII.	REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS	65
IX	ANEXOS	67
9.1	Etapas de la Obtención de la Queratina a Nivel de Laboratorio.	68
9.2	Etapas de Escalamiento de la Planta Piloto	69
9.3	El Mejor Rendimiento Obtenido Experimento #4.	70
9.4	Cotización de reactivos	71
9.5	Plano de vista de planta del Sistema de dos Reactores	72

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Reactivos utilizados durante el proceso de obtención de Queratina.....	26
Tabla 2. Material de laboratorio, utilizados para la obtención de Queratina a nivel de Laboratorio.....	28
Tabla 3 Características de la Solución de Queratina Obtenida por el Método I y Queratina Comercial a partir de plumas de Gallina Blanca.....	31
Tabla 4. Volumen de los tanques a utilizar en la planta piloto	44
Tabla 5. Preparación de reactivos	49
Tabla 6. Costo de Reactivos a utilizar en planta con dos reactores	52
Tabla 7. Costo de quipos mayores.	53
Tabla 8. Costo de materiales y accesorios en general.....	54
Tabla 9. Costos para el Montaje de la Planta Piloto con un solo reactor	55
Tabla 10. Cantidades de reactivos a adicionar al reactor	56
Tabla 11. Costo de reactivos para planta con un solo reactor	58
Tabla 12. Costo de quipos mayores.	59
Tabla 13. Costo de materiales y accesorios en general	60
Tabla 14. Costos para el Montaje de la Planta Piloto	61
Tabla 15. Condiciones de Optimización Estudiadas y % de Rendimiento Obtenido. .	70

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Reacción entre aminoácidos para formar el enlace peptídico.....	12
Figura 2. Reacción entre aminoácidos para formar el enlace peptídico.....	13
Figura 3. Conformación estructural de las proteínas (Lehninger, 2005).	14
Figura 4. Estructura primaria de las proteínas (Julián Seguí, 2010).	15
Figura 5. Estructura secundaria de las proteínas (Julián Seguí, 2010).	16
Figura 6. Estructura cuaternaria de las proteínas (Julián Seguí, 2010).	17
Figura 7. Estructura de la fibra de queratina (Julián Seguí, 2010)	18
Figura 8. Estructura primaria de la queratina (Julián Seguí, 2010)	18
Figura 9. Estructura secundaria de la queratina (Julián Seguí, 2010)	19
Figura 10. Estructura terciaria de la queratina (Julián Seguí, 2010)	20
Figura 11. Hidrólisis de la queratina (Julián Seguí, 2010).....	21
Figura 12. Estructura de la pluma de pollo (Salinas Salinas P.D, 2010).....	22
Figura 13. Flujograma del proceso de obtención de queratina	32
Figura 14. Localización geográfica del terreno donde estará instalada la Planta Piloto	37
Figura 15. (a) Materia prima en proceso de secado, (b) beaker conteniendo 50 g de materia prima limpia y seca, (c) Materia prima en agitación con 3000 ml de solución acuosa de sulfuro de sodio, (d) Sistema de filtración al vacío utilizado	39
Figura 16. (e) Filtrado obtenido luego de la agitación con Na_2S , (f) Adición de H_2O_2 al filtrado (e), (g) Acidificación con H_2SO_4 , (h) Residuo de la filtración de la suspensión (g)	40
Figura 17. (i) Neutralización con NaOH , (j) Filtración de la solución neutralizada, (k) Solución de queratina obtenida	40
Figura 18. Diagrama de flujo del proceso de extracción de queratina a partir de plumas de pollo	42
Figura 19. Tanque de polietileno de alta densidad, espesor promedio de pared 13 mm (cotas en metros), capacidad 10000 L, diámetro 2.32 m, altura 2.82 m. (a) vista frontal, (b) vista superior (Ecotank Rotomolding S.A.).....	45
Figura 20. Tanque de polietileno de alta densidad, espesor promedio de pared 11 mm (cotas en metros), capacidad 5000 L, diámetro 1.75 m, altura 2.55 m. (a) vista frontal, (b) vista superior (Ecotank Rotomolding S.A.).	46
Figura 21. Diagrama de flujo del proceso de extracción de queratina a partir de plumas de pollo empleando dos reactores.....	50
Figura 22. Diseño de la planta piloto para extracción de queratina	51
Figura 23. Diagrama de flujo del proceso de extracción de queratina a partir de plumas de pollo empleando un reactor	57
Figura 24. Flujograma de etapas de obtención de queratina	68
Figura 25. Flujograma de etapas para el diseño de la planta piloto.....	69

I. INTRODUCCIÓN

La industria avícola en Nicaragua (Carne de pollo y huevo), aportó el 3.5% del Producto Interno Bruto (PIB) de Nicaragua en el año 2014, esta industria ha tenido un crecimiento de 17%, y sumó un 2.8% al PIB de ese año. Se sabe que esta industria genera 400 millones de dólares por año (Kenneth Chávez, 2014).

De acuerdo con la Asociación Nacional de Avicultores y Productores de Alimentos (ANAPA, 2015). La carne de pollo es uno de los principales pilares de la seguridad alimentaria y nutricional de los nicaragüenses. El 96% de la producción de carne de pollo es aportado por la industria nacional. De acuerdo a las cifras oficiales del Banco Central de Nicaragua la producción nacional de carne de pollo mantiene una línea ascendente al igual que el consumo per cápita.

En el año 2012 se produjeron 258.4 millones de libras de pollo, en 2013 se registraron 264.7 millones, en 2014 aumentaron a 278.3 millones y en 2015 se proyecta llegar a una cifra de 282 millones de libras. La industria avícola genera más de ocho mil empleos directos y treinta mil indirectos, gracias al sólido crecimiento que en los últimos años ha experimentado la producción de carne de pollo y huevo.

El crecimiento y desarrollo alcanzado por esta industria, obedece a la inserción de la genética de países desarrollados, importada de las casas comerciales de los EEUU y las subsidiarias en la región Centroamericana, la cual ha sido introducida en Nicaragua por la industria nacional, a través de los productos avícolas, como huevos fértiles, gallos y gallinas carne de pollo. Esto ha permitido que las importaciones demandadas aumentaran en 5.7 %, al crecer hasta US\$13.4 millones en el último quinquenio. (ANAPA, 2015).

Los desechos como plumas de pollo provenientes de las industrias avícolas, representan a cerca de 3600 millones de toneladas anualmente en todo el mundo, esto es considerado un problema crítico en muchos países. Aunque estos residuos de plumas de pollo pueden ser eliminados por diversos métodos, tales como ventas, incineración o enterrándolas, éstos no son amigables con el medioambiente. Por lo

tanto la modificación de los residuos de plumas de pollo como productos con valor agregado tiene muchas aplicaciones (Isarankura, Ayutthaya, y Tanpichai, 2015).

Las plumas de pollo se componen principalmente de una proteína llamada queratina y de ciertas impurezas. La queratina se caracteriza por poseer una baja densidad y unas buenas propiedades de aislamiento térmico y acústico. Estas propiedades podrían ser aprovechadas ventajosamente para el desarrollo de materiales industriales.

La queratina es un tipo de proteína que contribuye al endurecimiento de la capa superficial de la piel y del pelo, las plumas, las pezuñas, los cuernos y otros derivados, es insoluble en los solventes que disuelven normalmente proteínas como alcoholes y cetonas, cuenta con alto contenido de cistinas con una concentración aproximada del 3 % (Bielori, 2007). Cuenta con una elevada cantidad de azufre y una estructura que se califica como secundaria, ya que esta bioproteína toma una forma de espiral al plegarse sobre sí misma. La fuente natural principal de la queratina es las plumas de aves de corral las cuales contienen alrededor de 7 % de cisteína en la queratina. (Barone, 2005)

Tres métodos diferentes se pueden aplicar en la obtención de la queratina los cuales son: método del Sulfuro de sodio, método del Etóxido de sodio y método del Boro hidruro de sodio.

En un estudio realizado por Marín y Hernández (2014) Se recomendó utilizar el método del Sulfuro de sodio ya que en este se obtuvieron mejores resultados. Principalmente porque se obtiene queratina cosmética con características muy similares a las del producto comercial. En la actualidad no se ha realizado ningún estudio de escalamiento del proceso para elaborar o diseñar una planta donde se incremente la cantidad inicial de materia prima para obtener mayor cantidad de queratina y así poder aprovechar una mayor extracción y obtención de queratina.

En esta Investigación se realizara el Escalamiento del Proceso de Obtención de Queratina a partir de plumas de pollo por el método de sulfuro de sodio. Al utilizar el método de sulfuro de sodio se pretende obtener un mejor rendimiento del proceso. Por otro lado al incrementar la materia prima principal (plumas de pollo) se obtendrán

cantidades mayores de queratina trabajando no solamente a micro escala (a nivel de laboratorio), sino que también a una escala un poco mayor (planta piloto).

La planta piloto estará ubicada en Chinandega lo que facilitara la obtención de la materia prima ya que se cuenta con varias granjas avícolas a sus alrededores.

Debido a que las plumas de pollos son un desecho, y la queratina es un producto de alto costo económico se vio la necesidad de explotar este recurso ya que la materia prima es muy fácil de obtener y por ende la queratina tendrá un Precio Accesible comparación a las otras en el mercado.

II. OBJETIVOS

2.1. Objetivo general

- Realizar el Escalamiento del Proceso de Obtención de Queratina a partir de Plumas de pollo por el Método sulfuro de sodio.

2.2. Objetivos específicos

- Extraer Queratina a partir de Plumas de Pollo por el Método de Sulfuro de Sodio a nivel de Laboratorio para su adecuación en el Diseño de Equipos de Proceso.
- Seleccionar y Dimensionar los Equipos necesarios en el Proceso a Escala Piloto.
- Determinar los Costos para el Montaje de la Planta Piloto de Extracción de Queratina.

3.1. Generalidades de la Queratina y de las Plumas de Pollo.

3.1.1 Las Proteínas.

3.1.2 Características de las Proteínas.

$$\begin{array}{c}
 \text{R} \quad \text{O} \qquad \text{H} \quad \text{R}' \quad \text{O} \\
 | \quad || \quad | \quad | \quad || \\
 \text{NH}_2\text{-CH-C-OH} + \text{NH-CH-C-OH} \\
 \downarrow \\
 \begin{array}{ccccc}
 \text{R} & \boxed{\text{O}} & & \text{R}' & \text{O} \\
 | & || & & | & || \\
 \text{NH}_2\text{-CH} & \boxed{\text{C-NH}} & \text{CH} & \text{C-OH} & + \text{H}_2\text{O}
 \end{array}
 \end{array}$$

Por hidrólisis, las moléculas de proteína se dividen en numerosos compuestos relativamente simples, de masa molecular pequeña, que son las unidades fundamentales constituyentes de la macromolécula, estas unidades son los aminoácidos, de los cuales existen veinte especies diferentes y que se unen entre sí

mediante enlaces peptídicos. Cientos y miles de estos aminoácidos pueden participar en la formación de la gran molécula polimérica de una proteína. (García, 2010). Las proteínas son largas cadenas de aminoácidos unidas por enlaces peptídicos entre el grupo carboxilo (-COOH) y el grupo amino (-NH₂) de residuos de aminoácido adyacentes (García, 2010).

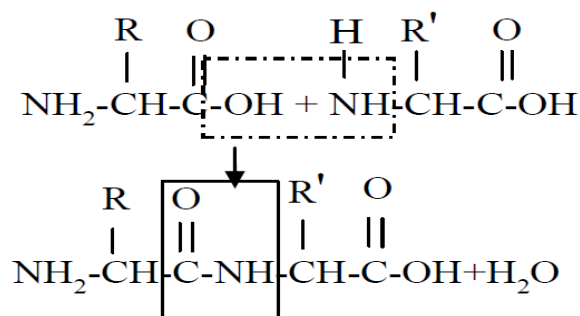


Figura 2. Reacción entre aminoácidos para formar el enlace peptídico

Por hidrólisis, las moléculas de proteína se dividen en numerosos compuestos relativamente simples, de masa molecular pequeña, que son las unidades fundamentales constituyentes de la macromolécula, estas unidades son los aminoácidos, de los cuales existen veinte especies diferentes y que se unen entre sí mediante enlaces peptídicos. Cientos y miles de estos aminoácidos pueden participar en la formación de la gran molécula polimérica de una proteína. (García, 2010).

3.1.3 Conformación de las Proteínas.

Cada tipo de molécula de proteína posee una forma tridimensional característica que es conocida como conformación. Según su conformación las proteínas se clasifican en dos clases principales: Proteínas fibrosas que aquellas que se encuentran conformadas por cadenas polipeptídicas ordenadas de forma paralela a lo largo de un eje formado fibras o láminas largas. Son insolubles en agua o en disoluciones salinas diluidas. Proteínas globulares se encuentran conformadas por cadenas

polipeptídicas plegadas estrechamente de modo que adoptan formas esféricas o globulares compactas (Lehninger, 2005).

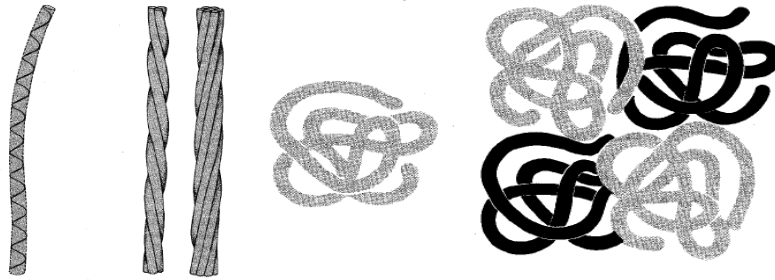


Figura 3. Conformación estructural de las proteínas (Lehninger, 2005).

3.1.4 Estructura de las Proteínas.

Todas las proteínas poseen una misma estructura química central, que consiste en una cadena lineal de aminoácidos. De manera general se estructuran en conformaciones primaria, secundaria, terciaria y cuaternaria (Julián Seguí, 2010).

3.1.4.1 Estructura Primaria.

Se distinguen 4 niveles en la estructura de una proteína. La secuencia de aminoácidos determina la estructura primaria. Este nivel de la estructura se mantiene mediante enlaces peptídicos. Por convención, se escribe desde el extremo que tiene el grupo amino terminal hacia el grupo carboxilo final (Julián Seguí, 2010).

Los enlaces peptídicos forman el esqueleto de la proteína, del que emergen las cadenas laterales de los aminoácidos.

Las proteínas se diferencian en la secuencia y número de aminoácidos.

Aunque un péptido puede adoptar diferentes conformaciones, cada proteína tiene una única estructura tridimensional en condiciones fisiológicas, que resulta ser la más estable de todas las posibles, es decir, aquella con mayor número de interacciones débiles entre sus átomos. La secuencia de aminoácidos que forma una proteína determina su estructura tridimensional y su función. Las llamadas proteínas polimórficas admiten variaciones en su estructura primaria, conservando su función.

Las variaciones en algunas zonas de las proteínas tienen muy poca o ninguna repercusión en su función, pero hay zonas críticas, en las que cualquier variación afecta a la estructura, y por tanto a la función de la proteína (Julián Seguí, 2010).

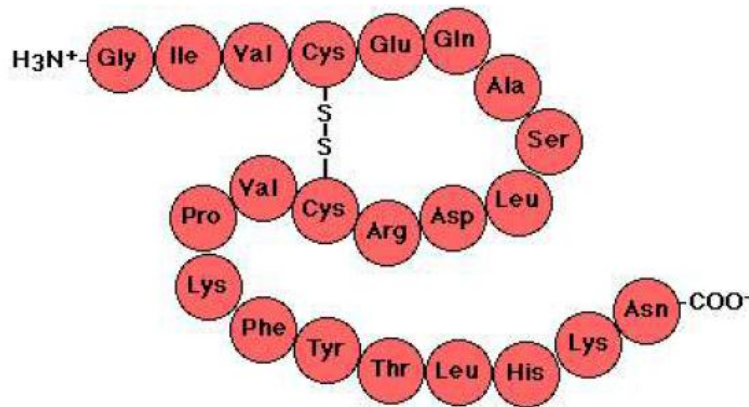


Figura 4. Estructura primaria de las proteínas (Julián Seguí, 2010).

3.1.4.2 Estructura Secundaria.

El término “estructura secundaria” se refiere a la estructura que adopta espacialmente una parte del polipéptido. Ocurre cuando los hidrógenos de la secuencia interactúan mediante puentes de hidrógeno. Puente de hidrógeno: se comparte un protón entre dos moléculas, formando un enlace débil. Dos tipos de estructuras son particularmente estables y frecuentes en las proteínas: la hélice α y la lámina β . Hélice α de la cadena adopta una estructura helicoidal, que se mantiene mediante puentes de hidrógeno, con los grupos R orientados hacia el exterior. Para formar esta estructura, el grupo carboxilo de cada aminoácido (n) se une mediante un puente de hidrógeno al grupo amino de otro aminoácido (n+4). Es una estructura estable porque da lugar a un máximo número de interacciones (Julián Seguí, 2010).

Conformación β : la cadena queda estirada y la estructura se dispone espacialmente en zigzag formando láminas (hojas plegadas β). La disposición puede ser paralela o antiparalela. Puede darse entre regiones próximas o distantes del polipéptido. Los grupos R sobresalen de la lámina en ambos sentidos, de forma alterna. La

conformación β se estabiliza mediante puentes de hidrógeno, como en el caso anterior (Julián Seguí, 2010).

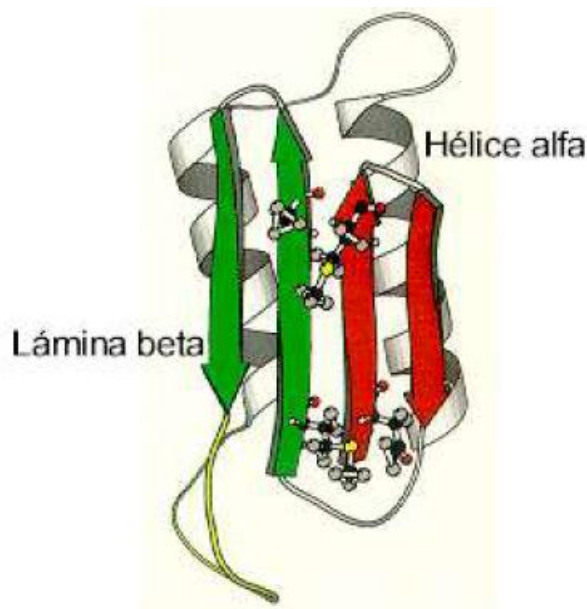


Figura 5. Estructura secundaria de las proteínas (Julián Seguí, 2010).

3.1.4.3 Estructura Terciaria.

Es la estructura plegada y completa de la cadena en 3D. Ocurre cuando ciertas atracciones están presentes entre hélices alfa y hojas plegadas (conformación β). Es específica de cada proteína y determina su función. Las características físicas y químicas de la molécula dependen de su estructura terciaria. Las regiones de la proteína con una estructura secundaria definida se llaman dominios. La estructura terciaria define las interacciones entre los diferentes dominios que la forman. El plegamiento terciario no es inmediato, primero se agrupan conjuntos de estructuras denominadas dominios que luego se articulan para formar la estructura terciaria definitiva. Este plegamiento está facilitado por uniones denominadas puentes disulfuro, -S-S- que se establecen entre los átomos de azufre del aminoácido cisteína (Julián Seguí, 2010).

Hay dos tipos de proteínas, según su estructura terciaria:

a) Proteínas Fibrosas: estructuras con forma de fibra o lámina. Insolubles en el agua. Las proteínas que dan forma y protección a los organismos suelen ser

fibrosas. Las proteínas fibrosas se forman por repetición de estructuras secundarias simples (Julián Seguí, 2010).

b) Proteínas Globulares: estructuras globulares. Solubles en el agua. Muchas enzimas y proteínas reguladoras tienen esta forma. Las proteínas globulares tienen una estructura terciaria más compleja, formada a partir de varias estructuras secundarias diferentes. En las proteínas globulares, los residuos apolares se orientan hacia el interior (hidrófobos), y los polares hacia el exterior (hidrófilos) (Julián Seguí, 2010).

3.1.4.4 Estructura Cuaternaria.

Sólo está presente en las proteínas que constan de más de una cadena de aminoácidos. La estructura cuaternaria se refiere a las uniones entre las distintas cadenas polipeptídicas que forman la proteína, dando lugar a una estructura tridimensional.

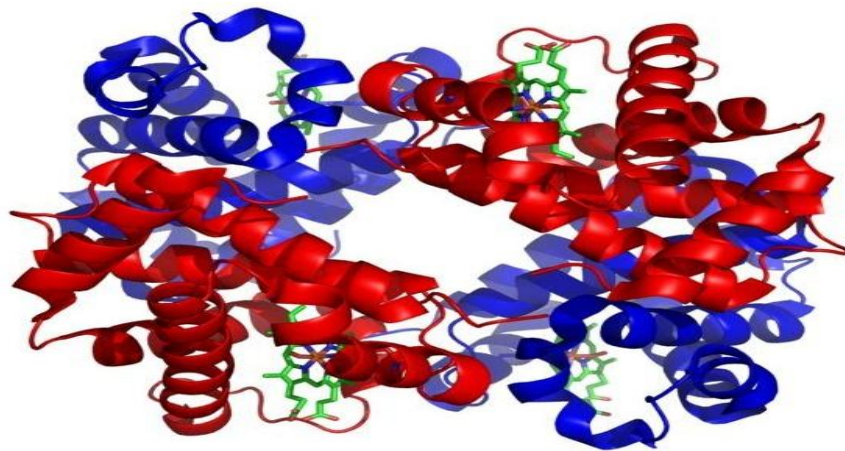


Figura 6. Estructura cuaternaria de las proteínas (Julián Seguí, 2010).

3.1.5 La Queratina.

La queratina es una proteína que se presenta en forma de microfibrillas, como si fuesen una maroma o cuerda. Las proteínas siempre están formadas por cadenas de aminoácidos que se enlazan entre sí formando fibrillas. Está muy extendida en la

naturaleza: además de encontrarse en la piel, pelo y uñas, se encuentra además en la lana, las plumas, pezuñas, cuernos, etc.

La queratina está compuesta básicamente por un aminoácido de alto contenido de azufre. Las queratinas duras contienen entre un 15 o un 18% de azufre, mientras que las blandas sólo tienen entre un 2 y un 4%.

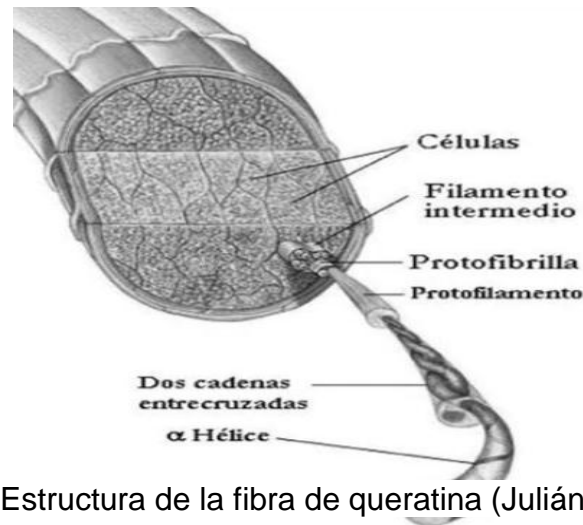


Figura 7. Estructura de la fibra de queratina (Julián Seguí, 2010)

3.1.5.1 Estructura de la Queratina

a) Estructura Primaria.

Esta es fundamental para la forma tridimensional de la proteína, cualquier modificación en la secuencia de aminoácidos podría ocasionar un cambio en la estructura tridimensional y afectará la función biológica (Julián Seguí, 2010).

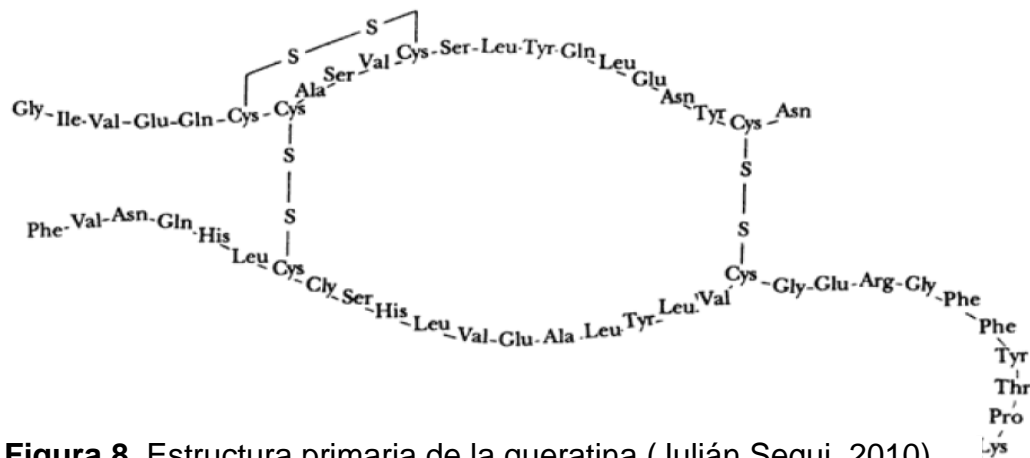


Figura 8. Estructura primaria de la queratina (Julián Seguí, 2010)

Los aminoácidos más abundantes presentes en la queratina son: Glicina 21,5% (Gli), Fenilalanina 3,9% (Fen), Alanina 11% (Ala), Ácido aspártico 9,3% (Asp), Cisteína 12,2% (CiSH), Lisina 7,3% (Lis), Prolina 2,3% (Pro), Valina 4,2% (Val), Leucina 3.2% (Leu), Isoleucina 1,2% (Ile) Treonina 4,8%(Tre), Otras.19, 1% (Julián Segui, 2010).

b) Estructura Secundaria.

A medida que la cadena de aminoácidos de queratina se va ensamblando, empiezan a tener lugar interacciones entre los diversos aminoácidos de la cadena. Pueden formarse puentes de hidrógeno, entre el hidrógeno del amino de un aminoácido y el oxígeno del carboxilo de otro.

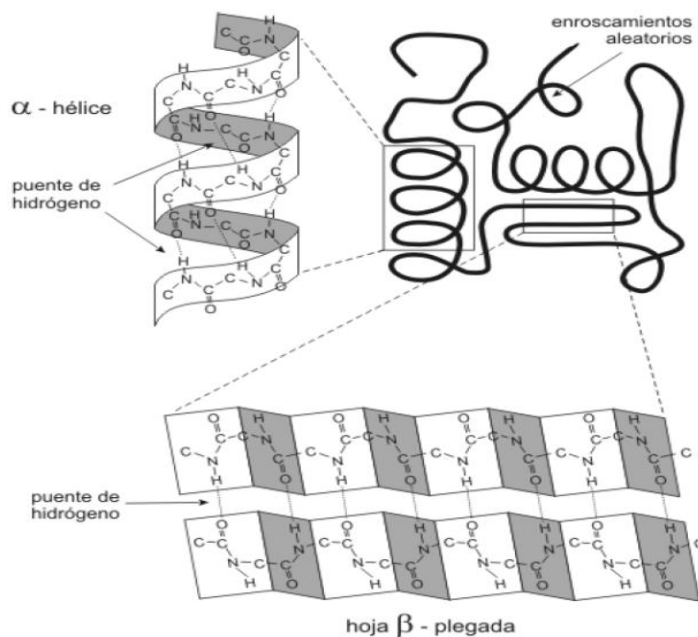


Figura 9. Estructura secundaria de la queratina (Julián Segui, 2010)

c) Estructura Terciaria.

Debido a la interacción de los grupos R de los aminoácidos, la cadena polipeptídica se pliega determinando una intrincada estructura tridimensional. (Julián Segui, 2010).

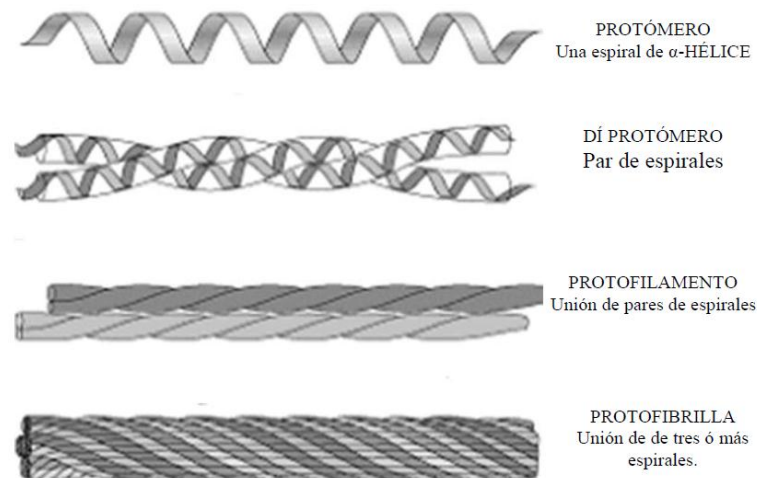


Figura 10. Estructura terciaria de la queratina (Julián Seguí, 2010)

3.1.5.2 Reacciones Químicas de la Queratina

La queratina presenta propiedades exclusivas como proteína debido a la presencia de enlaces tales como:

Enlaces amídicos: Unen un aminoácido con otro para formar la cadena principal, son muy sólidos y solo se rompen con soluciones acuosas concentradas de ácidos y bases fuertes (Julián Seguí, 2010).

- a)** Puentes salinos: se forman entre los grupos de ácidos y básicos de las cadenas laterales. Cuando estos grupos sobrantes no forman enlace amídico, están cerca uno del otro, se origina una atracción entre sus cargas o atracciones electromagnéticas (Julián Seguí, 2010).
- b)** Enlaces di sulfuro: es la unión que existe entre los dos átomos de azufre de la molécula de cistina. Esta unión es fuerte y en la molécula de alfa-queratina suele existir un puente de este tipo cada cuatro vueltas de la espiral (Julián Seguí, 2010).
- c)** Puentes de hidrógeno: se originan por la atracción de átomos con polaridad negativa al hidrógeno con polaridad positiva. Por estos puentes las cadenas no son rectilíneas sino helicoides, girando sobre sí misma como una cinta enrollada.

Esta es la alfa-queratina. Estas uniones son débiles en relación a la unión de los aminoácidos y se rompen con facilidad, cuando se mojan con agua (Julián Seguí, 2010).

3.1.5.3 Hidrolisis de la Queratina.

La queratina con agua da una hidrólisis de los enlaces disulfuro de la cisteína para producir la cisteína (tiol) y ácido sulfénico (Julián Seguí, 2010).

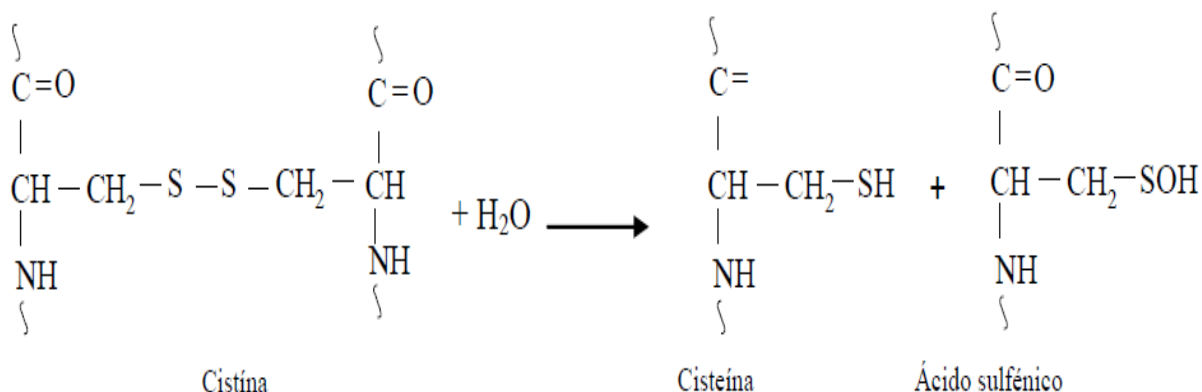


Figura 11. Hidrólisis de la queratina (Julián Seguí, 2010)

3.1.6 Características de las Plumas de Pollo.

Las plumas proveen a las aves diversas funciones como la de proteger la piel, regular la temperatura del cuerpo, hacer posible la función del vuelo, flotar sobre el agua. Estas plumas son repelentes e impermeables al agua gracias a su micro estructura. La repelencia al agua confiere auto limpieza: al caer una gota de agua está tenderá a rodar, llevándose con ellas partículas de polvo o suciedades adheridas al plumaje; debido a que están compuestas por la proteína queratina. La pluma de pollo presenta la siguiente estructura (Salinas Salinas P.D, 2010).



Figura 12. Estructura de la pluma de pollo (Salinas Salinas P.D, 2010)

3.2 Principios Básicos de Escalamiento.

El escalamiento es una herramienta vital para la ingeniería química, ya que con ella se pueden reducir errores en diseños directos, debido a correlaciones inexactas o a la falta de información. Escalar un proceso o equipo es convertirlo de su escala de investigación (laboratorio o piloto) a escala industrial (producción) (Anaya-durand & Pedroza-Flores, 2008).

En la práctica existen muchas definiciones del término escalado. Una definición que se ajusta bastante a la concepción actual sería: “Escalado es el proceso mediante el cual se logra la exitosa puesta en marcha y la operación económica de una unidad a escala comercial basándose, al menos en parte, en resultados de investigaciones realizadas a una escala más pequeña”.

El proceso de investigación y Desarrollo puede considerarse dividido en 5 etapas, niveles o escalas: Laboratorio, Banco, Piloto, Semi-industrial e Industrial. Esta división es convencional y por ello, no son muy precisos los límites entre una escala y otra. En todos los casos resulta imprescindible el análisis detallado de las características del proceso que se pretende desarrollar y del nivel de conocimientos que se tiene sobre el mismo, para poder decidir las etapas que hay que acometer y

planificarlas adecuadamente, de forma tal que se emplee el mínimo de recursos y se culmine en el menor tiempo posible (Anaya-durand & Pedroza-Flores, 2008).

3.2.1 Escala Piloto

Los estudios de escala piloto resultan de especial importancia para el cambio de escala, pero poseen un alto costo y la decisión de su realización debe considerar un conjunto de factores entre los cuales se destacan:

- Tipo de proceso,
- Nivel de información disponible,
- Tamaño propuesto para la unidad industrial.

En los procesos a escala o planta piloto intervienen fenómenos, simples o complejos, de interés para la ingeniería química, los cuales permiten un análisis de las interacciones presentes en operaciones tales como la termodinámica, el flujo de fluidos, la transferencia de masa y energía, las reacciones químicas, la biotecnología, el control de procesos, etc. El uso de las plantas de proceso a escala piloto tiene como principales propósito (Anaya-durand & Pedroza-Flores, 2008).

- Predecir el comportamiento de una planta a nivel industrial, operando la planta piloto a condiciones similares a las esperadas. En este caso los datos obtenidos serán la base para el diseño de la planta industrial.
- Servir como modelo teniendo como función principal mostrar los efectos de los cambios en las condiciones de operación de manera más rápidos y económicos.

La planta piloto permite experimentar de forma económica y eficaz el comportamiento al escalar de: condiciones de operación, parámetros de diseño, materiales de construcción, operaciones unitarias, impurezas, corrosión, procedimientos operativos, problemas de trabajo, problemas ambientales.

El paso fundamental en el escalamiento (Anaya-durand & Pedroza-Flores, 2008) consiste en pasar los datos obtenidos a escala de laboratorio a un modelo que puede ser:

- **Fenomenológico:** fundamentado en algunos razonamientos teóricos pero de tipo macroscópico.
- **Empírico:** el cual se postula sin bases teóricas y se espera solamente que ajuste la interacción entre los datos en el rango o intervalo de experimentación.
- **De Similitud:** obtenido a partir de un análisis de similitud con respecto a analogías físicas de tipo térmico, mecánico, geométrico, químico, etc.

El tipo de modelo de escalamiento depende tanto del proceso en cuestión como de la geometría de los equipos involucrados.

Del trabajo conjunto de investigación e ingeniería, surgen las variantes iniciales del diseño de planta, que sirven en cada caso para diseñar y seleccionar adecuadamente el equipo que se usará en la escala siguiente, pudiéndose decidir incluso la eliminación de algunas de las etapas, si el nivel de información así lo aconseja. Se llega de esa forma a la etapa final de diseño y proyectos de ingeniería, donde se realiza toda la documentación final del proyecto, la que debe estar compuesta de:

- Diagrama de flujo y Balances de materiales y energía del proceso en su conjunto (“Flowsheeting del proceso”).
- Definición primaria de las especificaciones de equipos y otros elementos del sistema tecnológico.
- Diseño de ingeniería de procesos y automática de equipamiento.
- Diseño de la planta, como un sistema integral, incluyendo los servicios con la calidad requerida, protección del medio y del personal y las buenas prácticas de producción.
- Proyecto Ejecutivo de los equipos y otros elementos de fabricación nacional.
- Documentación técnica de puesta en marcha y operación.

IV. METODOLOGIA

4.1 Obtención de la Materia Prima

La materia prima (plumas de pollo) fue obtenida de algunas pequeñas Granjas avícolas como: Finca “Montalbán”, Granja “La Bendición”, Matadero “La Florida”, Granja “Los Gemelos”, las cuales se encuentran situadas en las cercanías a la ubicación del Escalamiento del proceso de obtención de queratina a partir de plumas de pollo por el método sulfuro de sodio.

4.2 Lavado y Secado de la Materia Prima.

Las plumas obtenidas fueron adicionadas a un recipiente de plástico con suficiente agua, la agitación se llevó a cabo de forma manual y ocasional. Después de 6 horas de lavado se desechó el agua sucia usando una cesta, y se repitió de igual manera por dos veces más. Finalmente las plumas húmedas fueron extendidas en papel de aluminio y secadas en un horno 70°C por 48 horas. Las plumas secas se cortaron manualmente con tijeras, para separar las barbillas de los raquis (eje central). Los raquis fueron descartados y las barbillas fueron depositadas dentro de bolsas plásticas para la posterior extracción de la queratina.

4.3 Reactivos.

La Tabla 1 muestra los reactivos que serán utilizados para la extracción de la queratina.

Descripción	Fórmula
Sulfuro de sodio al 6%	$\text{Na}_2\text{S} \cdot 9\text{H}_2\text{O}$
Peróxido de hidrogeno al 30 %	H_2O_2
Ácido sulfúrico al 10 %	H_2SO_4
Hidróxido de sodio al 10 %	NaOH

Tabla 1. Reactivos utilizados durante el proceso de obtención de Queratina.

4.4 Preparación de Disoluciones

- **Sulfuro de Sodio 1.5%**

Se tomaran 30 gramos del reactivo de Na_2S y se disuelven en 1970 ml de agua destilada, para obtener 2000 ml de una disolución de sulfuro de sodio al 1.5%.

$$\text{Na}_2\text{S } 1.5\% = \frac{30g \text{ Na}_2\text{S}}{1970 \text{ ml H}_2\text{O} + 30 \text{ g Na}_2\text{S}} \times 100$$

- **Peróxido de Hidrógeno 30 %**

Se usó tal cual a como se obtuvo de los proveedores en la botella al 30 %

- **Ácido Sulfúrico al 10%**

Se tomaran 104.2 ml de ácido sulfúrico al 96% y se colocan en un matraz volumétrico de 1000 ml conteniendo 500 ml de agua destilada. Se homogenizara bien y se esperara que la disolución alcance la temperatura ambiente, posteriormente se diluye hasta la señal de aforo con agua destilada.

$$V_{H_2SO_4} = \frac{10\% \times 1000 \text{ ml}}{96\%} = 104.2 \text{ ml}$$

- **Hidróxido de Sodio al 10 %**

Se tomaran 100 gramos del reactivo de NaOH y se disuelven en 900 ml de agua destilada, para obtener 1000 ml de una disolución de sulfuro de sodio al 10%.

$$NaOH \text{ } 10\% = \frac{100 \text{ g } NaOH}{900 \text{ ml } H_2O + 100 \text{ g } NaOH} \times 100$$

4.5 Materiales de Laboratorio

En la Tabla 2 se presentan los materiales que serán utilizados en la primera etapa del estudio.

Tabla 2. Material de laboratorio, utilizados para la obtención de Queratina a nivel de Laboratorio.

Ítem	Descripción	Cantidad	Ítem	Descripción	Cantidad
1	Horno de calentamiento	1	8	Caja de Papel aluminio	1
2	Probeta de 1000ml	1	9	Balanza	1
3	Plancha de calentamiento.	1	10	Probeta de 200 mL	1
4	Recipiente plástico.	1	11	Embudo de filtración	1
5	PH metro.	1	12	Matraz de aforo de 200 mL	
6	Papel filtro.	3	13	Pares de Guantes	3
7	Bidones de 4 galones para contener agua	2			

Fuente: Elaboración Propia

4.6 Extracción de queratina

A un frasco de vidrio con tapa se adiciono 50 g de plumas y 2000 mL de solución acuosa de sulfuro de sodio al 1.5 %.

Esta mezcla se tapa y se sujeta sobre una plataforma móvil, donde se agito por un día a temperatura ambiente. La suspensión obtenida se filtra (con papel filtro), el filtrado se recogió en otro frasco de vidrio con tapa, luego se adiciono 150ml de peróxido de hidrógeno de 30%. El recipiente se tapa y se agita en la plataforma móvil por 50 minutos, a temperatura ambiente. Luego la mezcla anterior se acidifica hasta pH 4.8, adicionando ácido sulfúrico al 10%. La suspensión formada se decanta por 48 horas y se filtra con papel filtro. El sólido se lava con 50mL de agua destilada, la mezcla del filtrado y el agua del lavado se neutraliza con hidróxido de sodio diluido (hasta pH 7) y se deja en reposo por 48 horas. Luego se filtra la suspensión, el sólido se lava con 50mL de agua destilada, el filtrado se agita por 2 horas y se decanta por 1 día (Marín y Hernández, 2014).

4.7 Recolecta del producto final

Se filtra la suspensión (en papel filtro) y el filtrado se afora a 200mL con agua destilada para su posterior purificación por liofilización.

4.8 Optimización de Reactivos

La optimización de reactivos fue llevada a cabo en un trabajo previo realizado por Chávez Marín y Tenorio Hernández en el año 2014, esta consistió en 6 experimentos en los cuales se variaron las cantidades de reactivo reductor (Na_2S), la cantidad de peróxido de hidrógeno y las cantidades de plumas de gallina. Las plumas de gallina utilizadas como materia prima fueron de gallina india (plumas amarillas) y de gallina blanca (plumas blancas). También se variaron algunos parámetros como la temperatura y el tiempo de agitación. A continuación mostraremos las condiciones en la que se obtuvo el mejor Rendimiento:

En el Método I con Plumas Blancas.- A temperatura ambiente y con agitación continua 2000 ml de la solución acuosa de Na_2S , reaccionaron lentamente con 50 g de plumas, después de 1 día mantuvo una apariencia cremosa de color inicial gris que luego cambia a color verde y un olor de descomposición, se procedió a realizar el filtrado con en papel filtro cualitativo, en el papel filtro quedo un residuo de color oscuro lavándose con 100ml de agua destilada.

Se adiciona 75 ml de peróxido de hidrogeno 30 % la cual es una sustancia oxidante en donde se produce una reacción de oxidación efervescente (desprende burbujas). Luego de 50 minutos de agitación de la mezcla, a temperatura ambiente se observó un líquido de color amarillo claro y un sedimento de color crema. Se añadieron 30 gotas de ácido sulfúrico 10% para acidificar la solución a $\text{pH} 4.8$ obteniéndose una suspensión que reposo durante 48h, realizándose luego un proceso de filtración. El precipitado se lavó con 50ml de agua y se neutralizó con 3ml de hidróxido de sodio 10% hasta obtener un $\text{pH} 7$ dejándose en reposo por 48 horas para ver si la solución presenta precipitado. Debido a que ninguna de las muestras presento sedimentación no se realizó ninguna filtración o decantación esta es la solución de queratina cosmética obtenida.

A partir de 50g de plumas, 30g de Na_2S , y 75ml de H_2O_2 de 30v, se obtiene 3000 ml de la solución de queratina cuyas características del líquido están presentes en la tabla 3.

Tabla 3 Características de la Solución de Queratina Obtenida por el Método I y Queratina Comercial a partir de plumas de Gallina Blanca.

Características	Resultados de queratina obtenida	Especificaciones de de queratina Comercial con olor a Chocolate	Especificaciones de de queratina Comercial con olor a Vainilla
Color	Amarillo claro	Café Oscuro	Amarillo
Olor	Inodora	A Chocolate	A Vainilla
Aspecto	Transparente	Cremoso	Cremoso
Sólidos Totales	4284 mg/L	91,33mg/L	63mg/L
Densidad	1,0149 g/mL*	1,1139g/mL	1.01059 g/mL
Índice de Refracción	1,33879*	1,34937	1,34027
Viscosidad referencia Agua	1,00*	8,1 S	7,9 S
pH	5,95	5,0 – 7,5	5,0 – 7,5

Nota: *Promedio de tres repeticiones=Segundos. Fuente: Marín y Hernández (2014).

Las soluciones de queratinas obtenidas se caracterizaron realizándoles ensayos fisicoquímicos como: índice de refracción, densidad, viscosidad relativa, sólidos totales y pruebas organolépticas como: color, olor y textura. Los resultados fueron comparados con los realizados a dos tipos de queratinas disponibles comercialmente en el mercado local.

Las condiciones óptimas corresponde al experimento número 4, el cual acabamos de presentar anteriormente, ya que como se puede observar usando esas condiciones se obtuvo el mayor rendimiento de queratina (72 %), además la disolución de queratina obtenida presentó la apariencia y el contenido de sólidos similares a los de la queratina de referencia (cosmética o comercial).

4.9 Cálculo de Variables de Diseño.

Para el “**ESCALAMIENTO DEL PROCESO DE OBTENCIÓN DE QUERATINA A PARTIR DE PLUMAS DE POLLO POR EL METODO SULFURO DE SODIO**” es imprescindible dimensionar el tamaño de los equipos. En el trabajo anterior realizado por Marín y Hernández (2014), en el cual se optimizaron las cantidades de reactivos y de materia prima, se encontró que con 50 g se obtenían los mejores resultados a escala de laboratorio, por tal motivo en nuestro caso para poder echar a andar el escalamiento como partida del procesamiento de 500 Kg de pluma de pollo previamente lavada y secada. Además, se ha decidido tomar esta cantidad de plumas ya que como se mencionó antes la industria avícola en Nicaragua ha venido creciendo en los últimos años por lo que es posible contar con esa cantidad fácilmente, Por otro lado al utilizar esta cantidad se contribuirá a la disminución de estos desechos contaminantes, también se ha considerado instalar la planta piloto en un sitio próximo a muchas industrias avícolas lo cual nos facilitará adquirir la cantidad de plumas necesarias, así mismo facilitará el transporte y almacenamiento de la materia prima disminuyendo los costos.

Las etapas principales del proceso de obtención de queratina constan de algunas etapas como son: Reducción, Oxidación, Acidificación y Neutralización. A como se muestra en la Figura 13.

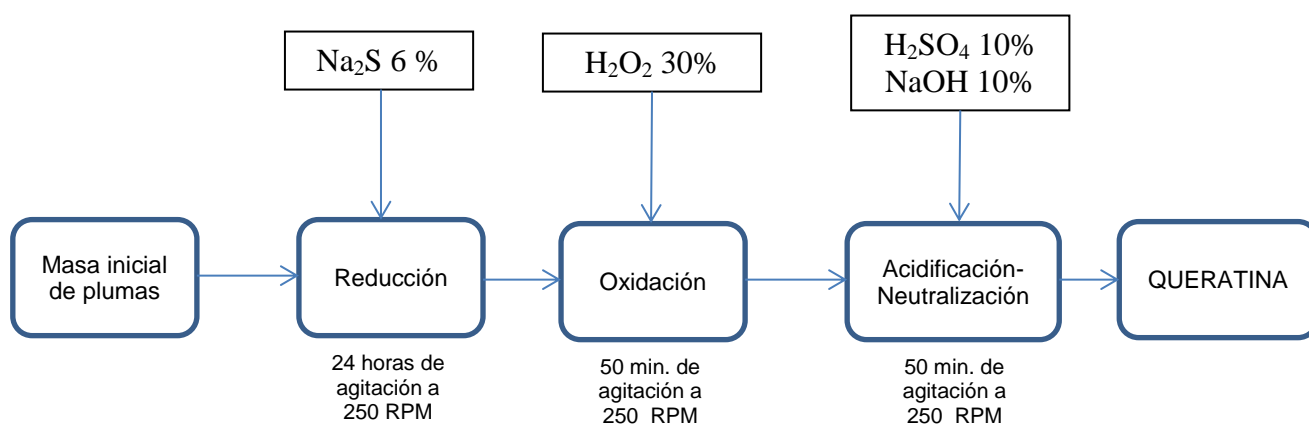
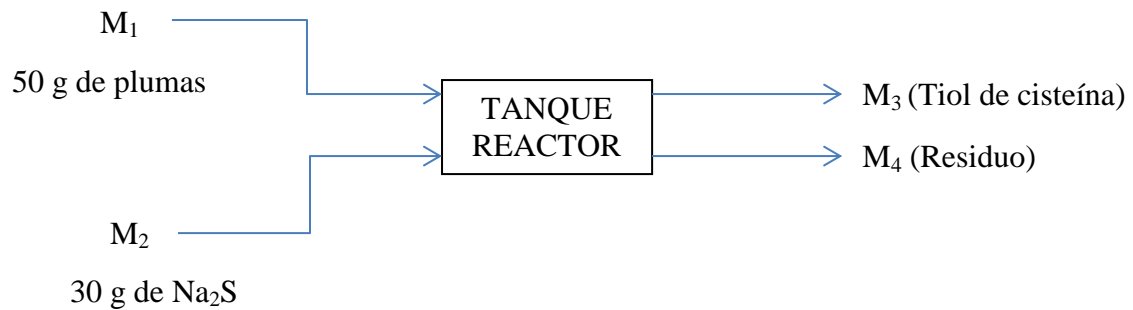
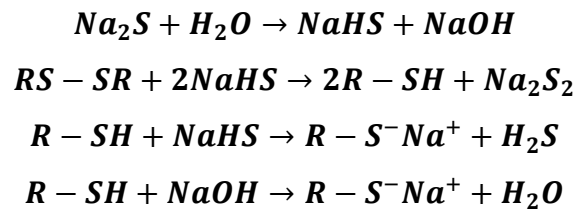


Figura 13. Flujograma del proceso de obtención de queratina

4.9.1 Etapa de Reducción.



Reacciones Químicas:

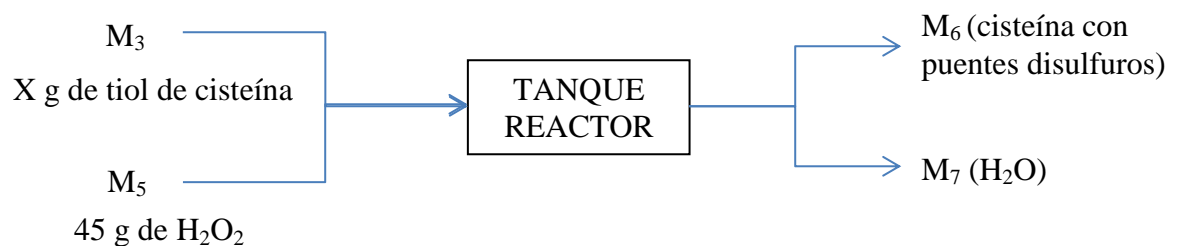


Base de cálculo: 500 Kg de plumas

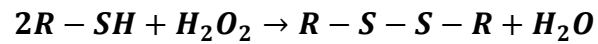
Balance Total de Masa: $M_1 + M_2 = M_3 + M_4$

Balance del Tiol de Cisteína: $M_3 = M_1 + M_2 - M_4$

4.9.2 Etapa de Oxidación.



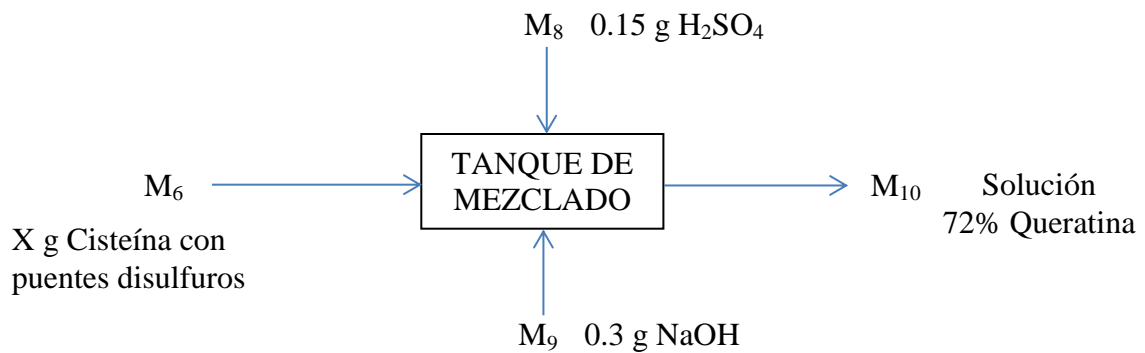
Reacciones Químicas:



Balance Total de Masa: $M_3 + M_5 = M_6 + M_7$

Balance de Cisteína: $M_6 = M_3 + M_5 - M_7$

4.9.3 Etapa de Acidificación-Neutralización



Balance de Queratina: $M_6 + M_8 + M_9 = 0.72 \times M_{10}$

4.9.4 Cálculos para el Escalamiento de los Equipos y Tanques.

La capacidad de cada tanque reactor se determinará escalando los materiales utilizados en el laboratorio y tomando en cuenta que se debe dejar cierto espacio para evitar que se derramen los reactivos y facilitar la agitación.

Para determinar el volumen y el área del recipiente a escala de laboratorio primero se calculará:

La Generatriz dada por la Ecuación:

$$g^2 = (R - r)^2 + h^2$$

Donde:

g: es la generatriz

R: es el radio mayor del recipiente

r: es el radio menor del recipiente

h: es la altura del recipiente

El Área está dada por:

$$A = \pi[(R + r)g + R^2 + r^2]$$

Donde:

A: es el área del recipiente

π : 3.1416

g: es la generatriz

R: es el radio mayor del recipiente

r: es el radio menor del recipiente

El volumen para el Recipiente estará dado por:

$$V = \frac{\pi(R^2 + r^2 + Rr)h}{3}$$

Donde:

π : 3.1416

R: es el radio mayor del recipiente

r: es el radio menor del recipiente

h: es la altura del recipiente

El Volumen de los Tanques Reactores se Calculará usando la siguiente Ecuación:

$$V = \pi r^2 h$$

Dónde:

V: es el volumen del tanque reactor

π : 3.1416

r: es el radio del tanque reactor

h: es la altura del tanque reactor

4.10 Ubicación del Escalamiento de la Planta Piloto.

Geográficamente, la ubicación de la planta piloto para la extracción de queratina estará localizada en el costado éste del Reparto Belén, comarca San Isidro Chinandega. El terreno tiene un área de 465.67 m². Este terreno se encuentra próximo a la ciudad de Chinandega y su ubicación es adecuada considerando su cercanía con diferentes granjas avícolas lo cual facilita la obtención de la materia prima. Además se reducirán los costos debido a la adquisición de terreno, impuestos ya que el terreno es propio. Para tener una idea de la localización geográfica se puede observar la Figura 14.



Figura 14. Localización geográfica del terreno donde estará instalada la Planta Piloto

4.11 Determinación de los Costos para el Montaje de la Planta Piloto.

La Determinación de los costos para el montaje de la planta piloto proporciona información básica sobre los costos de inversión del proceso operativo ya que debe contemplar una relación entre el producto, la materia prima y los reactivos que se pueden utilizar. Este estudio reporta:

- **Costos de Reactivos**
- **Costos de Equipos Mayores y Tanques**
- **Costos de Materiales y Accesorios**
- **Costo Total Para el Montaje de la Planta Piloto**

La información se ha obtenido a partir de los siguientes proveedores:

- 1. Productos “El Sol”**
- 2. SINTER**
- 3. LOBA QUMICOS.**
- 4. CAMNIC**
- 5. Ferretería SINSA**
- 6. Ferretería “Jenny”**
- 7. Ferretería “LUGO”**

V. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Para llevar a cabo la obtención de soluciones de queratina de plumas de pollo, se pueden aplicar tres métodos diferentes que se distinguen con los nombres de las sustancias reductoras que emplean, así tenemos el método de sulfuro de sodio, el método del etóxido de sodio y el método de borohidruro de sodio (Salazar, 2013). Sin embargo de estos tres métodos, el más recomendable es el que emplea sulfuro de sodio principalmente por su bajo costo, baja peligrosidad, además de que la solución de queratina obtenida presenta características similares a la queratina cosmética comercial (Salazar, 2013; Marín y Hernández, 2014). Por tal motivo hemos decidido realizar nuestra planta piloto utilizando el método de sulfuro de sodio. Hemos tomado como base de partida el estudio realizado a nivel de laboratorio por Chávez Marín, 2015, en cuyo estudio realizó la optimización de los reactivos principales utilizados en el método de sulfuro de sodio.

5.1 Extracción de queratina a nivel de laboratorio

Con el propósito de corroborar el procedimiento de extracción que hemos tomado como base para nuestra planta piloto, se realizó la extracción experimental de la solución de queratina a nivel de laboratorio, siguiendo los pasos descritos en el acápite 6.7 (Extracción de queratina) del presente trabajo. Los resultados obtenidos mostraron estar de acuerdo con los reportados por Marín y Hernández (2014). En las figuras 15, 16 y 17 se puede observar una descripción gráfica del proceso experimental.

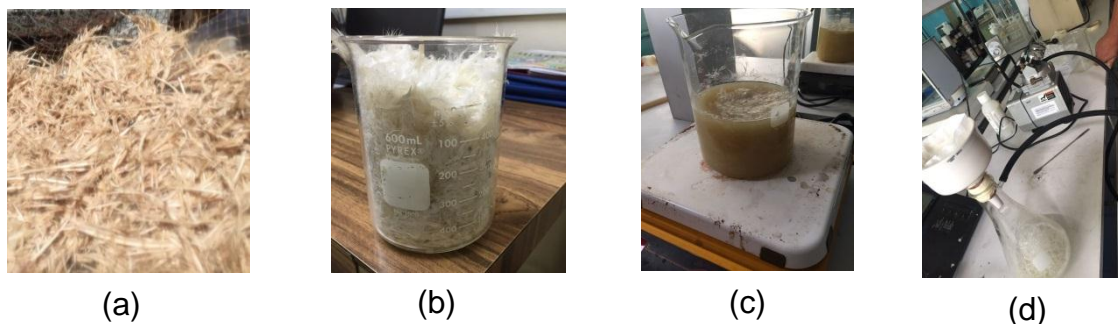


Figura 15. (a) Materia prima en proceso de secado, (b) beaker conteniendo 50 g de materia prima limpia y seca, (c) Materia prima en agitación con 3000 ml de solución acuosa de sulfuro de sodio, (d) Sistema de filtración al vacío utilizado

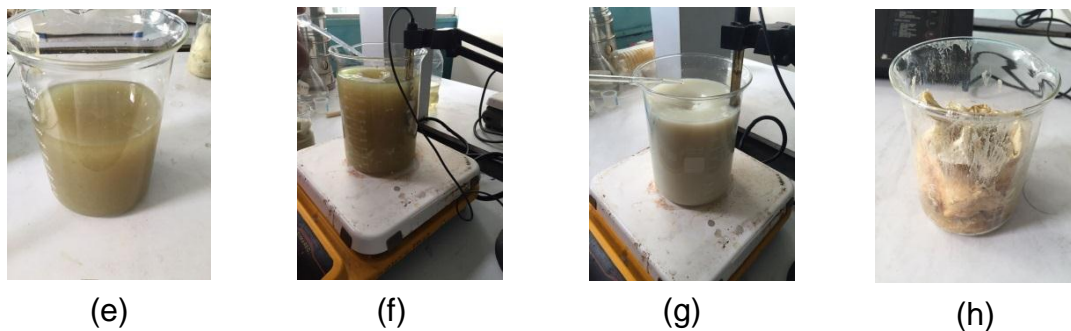


Figura 16. (e) Filtrado obtenido luego de la agitación con Na_2S , (f) Adición de H_2O_2 al filtrado (e), (g) Acidificación con H_2SO_4 , (h) Residuo de la filtración de la suspensión (g)

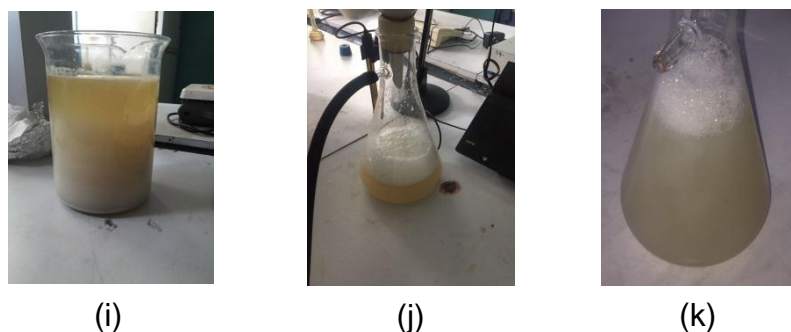


Figura 17. (i) Neutralización con NaOH , (j) Filtración de la solución neutralizada, (k) Solución de queratina obtenida

5.2 Propuesta técnica de la planta piloto

Para la propuesta técnica se tomó como base el procesamiento diario de 500 kg de plumas de pollo previamente lavadas, secadas y cortadas, de acuerdo con Marín y Hernández (2014), los reactivos y condiciones óptimas de extracción son los que se muestran en el acápite 6.6 (Extracción de queratina) del presente trabajo y que han sido confirmados de acuerdo a los resultados mostrados anteriormente en el apartado 7.1 de este trabajo.

En base a estos resultados se realizaron los cálculos necesarios para determinar y dimensionar los equipos bajo un modelo de similaridad con los equipos y materiales utilizados a nivel de laboratorio.

En la Figura 18 se presentan las diferentes cantidades necesarias para realizar el proceso a nivel de la planta piloto en cada una de las etapas (vistas de manera individual) para la obtención de Queratina a mayor escala, es decir utilizando como materia prima la cantidad inicial de 500 Kg de plumas de pollo.

5.2.1 Extracción de queratina en base a 500 kg de materia prima

Para determinar y dimensionar el tamaño de los equipos y tanques de almacenamiento y preparación de reactivos a nivel de planta piloto con una base de 500Kg de materia prima, se calcularon las cantidades de reactivos a utilizar en la planta piloto propuesta, esto permite conocer:

- el consumo de reactivo en cada una de las etapas para cada tipo de material,
- el mayor volumen de reactivo que se debe preparar en cada tanque,
- el tamaño de los tanques que contendrán los reactivos y,
- el tamaño del equipo donde se llevará a cabo el procesamiento de la materia prima.

A continuación se muestra el diagrama de flujo del proceso de extracción de queratina a partir de plumas de pollo, todo el proceso de extracción se lleva a cabo a temperatura ambiente.

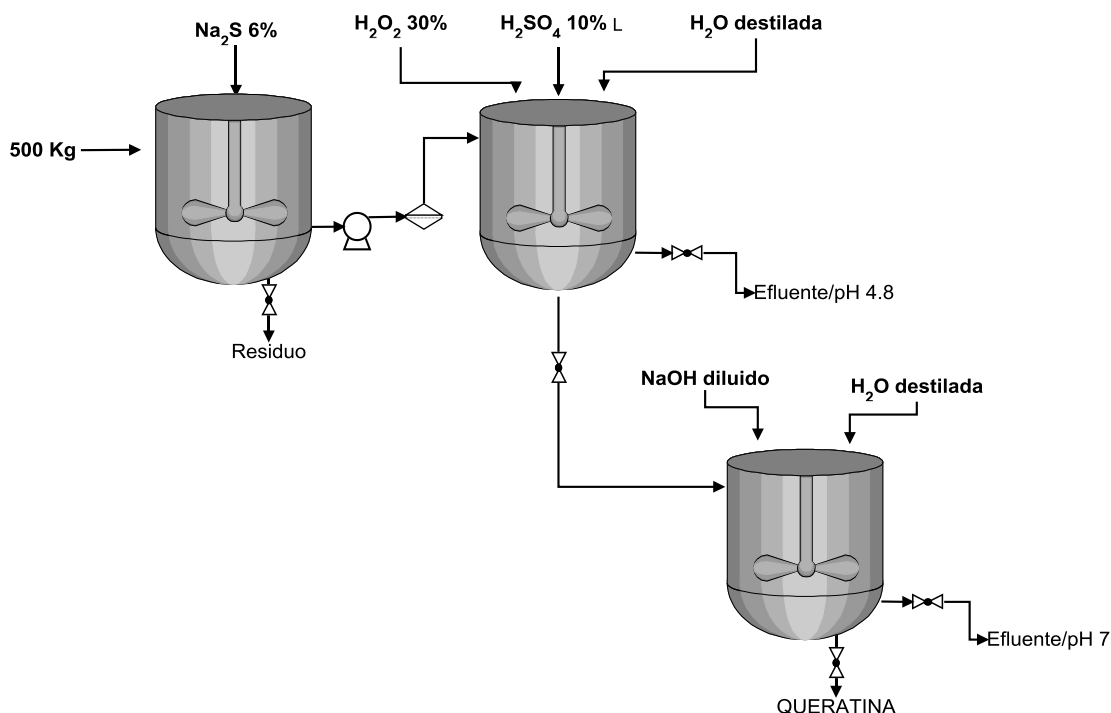


Figura 18. Diagrama de flujo del proceso de extracción de queratina a partir de plumas de pollo

Si consideramos que el proceso de extracción está dividido en tres etapas (reducción, oxidación y neutralización) a nivel de planta piloto nuestro sistema de extracción podría constar básicamente de tres tanques reactores, a como se muestra en la Figura 18.

En el primer tanque: La queratina se solubiliza usando sulfuro de sodio (Na_2S), la cual se disocia en agua para formar tiol inorgánico (hidrosulfuro) e iones hidroxilos. El anión hidrosulfuro reduce los enlaces sulfuro-proteína para producir una mezcla altamente reactiva de residuos de aminoácidos, cisteína y pertiocisteína, los cuales son fácilmente re estructurados una vez que se ha removido el exceso del agente reductor (Poole & Church, 2015). Posteriormente es impulsada con una bomba a través de un filtro para llegar a un segundo tanque, en donde se agrega con agitación constante un agente oxidante (H_2O_2) en medio ácido (H_2SO_4) pH 4.8, para luego ser lavada con agua destilada y transvasada a un tercer tanque en donde se neutraliza la disolución con hidróxido de sodio (NaOH) pH 7 y luego de varios lavados (al menos

dos) con agua destilada se obtiene la disolución de queratina. El montaje del tercer tanque se puede evitar al realizar la neutralización y el lavado final en el tanque número dos, luego de haber realizado el lavado y eliminado del efluente ácido pH 4.8 producido.

Sin embargo con el propósito de proponer una planta piloto con el menor costo posible, hemos realizado el estudio técnico económico con dos posibilidades de diseño para la planta:

- 1) Un diseño de la planta utilizando dos tanques reactores, con introducción de reactivos con un sistema de bombeo.
- 2) Un diseño de planta utilizando un solo tanque reactor con introducción de reactivos de forma manual.

5.3 Dimensionamiento de los equipos para un diseño de planta con dos reactores e introducción de reactivos por bombeo.

Cuando la queratina se obtuvo a nivel de laboratorio, los materiales y equipos utilizados fueron a pequeña escala y estos incluyen todos los que se detallaron en el apartado 4.6 de este trabajo. Sin embargo ahora nos vamos a referir a los equipos, materiales y reactivos a nivel de planta piloto, para la cual se realizó un escalado para una masa de 500Kg.

5.3.1 Tanques reactores

A nivel de planta piloto, se consideró que la extracción de queratina se llevaría a cabo en un sistema Batch o por lotes y que según las etapas involucradas en el proceso de extracción se pueden utilizar tres reactores. Sin embargo como se ha mencionado anteriormente con el propósito de reducir costos consideraremos aquí un diseño de extracción que emplea dos reactores, transformándolos en sucesivas operaciones hasta obtener el producto final. A nivel de laboratorio todos los procesos

comienzan siendo batch para innovar un proceso o un producto. Luego, si este producto va a ser producido masivamente durante muchos años, desde el punto de vista económico conviene desarrollar un proceso continuo.

Para la extracción de queratina se necesita: 38 horas de lavado y secado a temperatura ambiente, en caso de tiempo de lluvia utilizar un secador a 50 °C, 24 horas de mezclado en la etapa de reducción, 50 minutos en la etapa de oxidación, 48 horas de decantación luego de la acidificación (pH 4.8), 48 horas de reposo durante la neutralización, 2 horas de lavado con agua destilada y 24 horas de decantación. Las etapas medulares (reducción y oxidación) de la extracción toman un tiempo de **24.5 horas** y el resto del tiempo (160 horas) es consumido en procesos como decantación, reposo y lavado. Cuando se trabajó con 50g de material en el laboratorio, se utilizó un recipiente de polietileno de capacidad de un litro para la etapa de reducción y un matraz de 0.5 litros para la etapa de oxidación, acidificación, neutralización y lavado, quedando en ambos casos el espacio necesario para realizar el mezclado con agitación del material.

De acuerdo con lo anteriormente planteado, se realizó un cálculo sencillo para determinar el volumen total del recipiente o del tanque a utilizar para una base de 500 kg.

Tabla 4. Volumen de los tanques a utilizar en la planta piloto

Etapa de extracción		Materia prima (Kg)	Vol. adicionado reactivos (L)	Volumen total ocupado (L)	Capacidad de recipiente necesaria (L)
Reducción	Laboratorio	0.05	0.5	0.7	1
	Planta piloto	500	5000	7000	10000
Oxidación	Laboratorio	0.05	0.253	0.350	0.5
	Planta piloto	500	2530	3500	5000

El equipo para llevar a cabo el proceso debe tener un volumen mínimo de 10000 litros para la etapa de reducción y de 5000 litros para la etapa de oxidación, considerando el suficiente espacio para permitir la agitación de la mezcla sin que haya un rebalse. De acuerdo al proceso y los reactivos que se utilizan se pueden considerar un tanque reactor de acero inoxidable o de plástico. Considerando los costos y que además, es un proceso a nivel de planta piloto se recomienda un tanque de plástico. Los tanques a utilizar son los que se muestran en las figuras 8 y 9, de 10000 litros y 5000 litros respectivamente, estos deberán ser acondicionados de tal forma que sirvan para los propósitos antes mencionados.

Adicionalmente, el diseño del tanque reactor debe contemplar la incorporación de un agitador de paleta para llevar a cabo la mezcla del sistema durante las etapas de reducción, oxidación, acidificación, neutralización y lavado. Además, ambos tanques reactores deberán estar montados en una estructura de acero para darle resistencia y estabilidad, principalmente a la hora de la agitación, sin embargo para disminuir un poco los costos, proponemos la utilización de planchas de concreto en lugar de la estructura de acero.

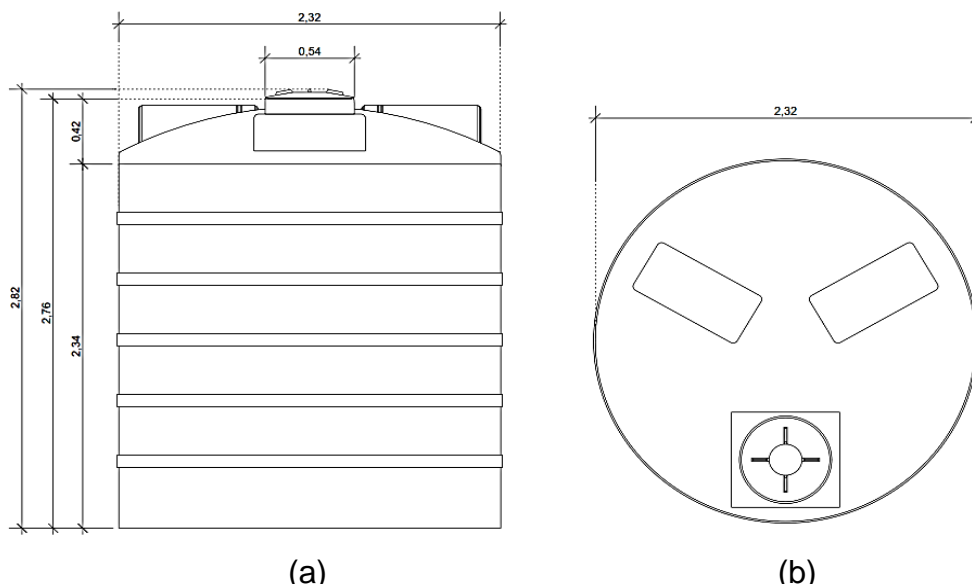


Figura 19. Tanque de polietileno de alta densidad, espesor promedio de pared 13 mm (cotas en metros), capacidad 10000 L, diámetro 2.32 m, altura 2.82 m. (a) vista frontal, (b) vista superior (Ecotank Rotomolding S.A.)

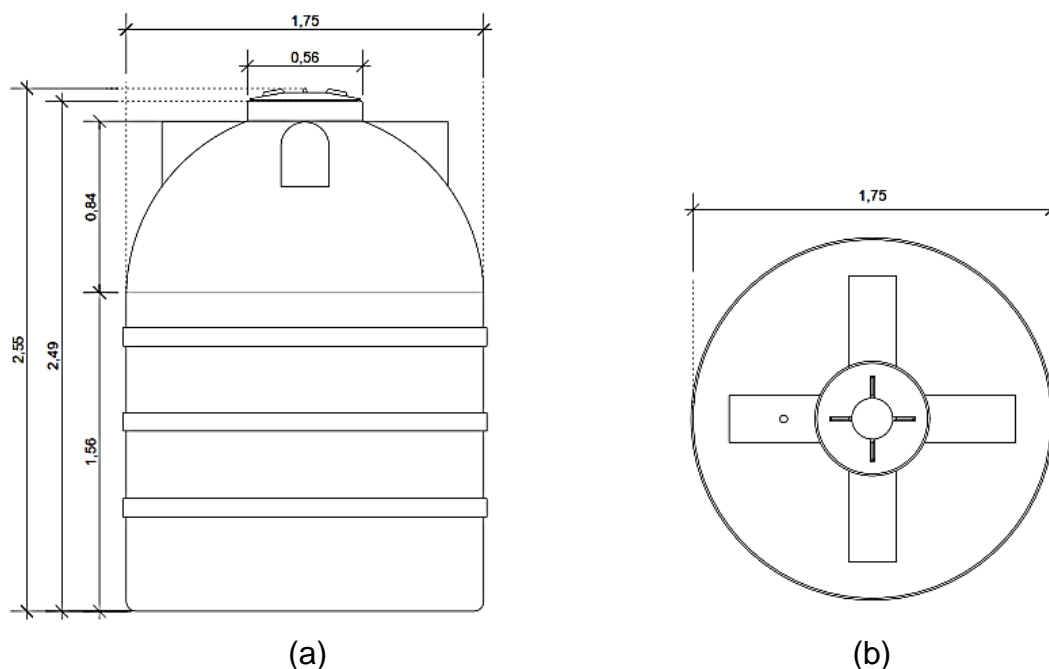


Figura 20. Tanque de polietileno de alta densidad, espesor promedio de pared 11 mm (cotas en metros), capacidad 5000 L, diámetro 1.75 m, altura 2.55 m. (a) vista frontal, (b) vista superior (Ecotank Rotomolding S.A.).

5.3.2 Tanques de almacenamiento de reactivos

Para la planta piloto se necesitan cuatro tanques de almacenamiento y preparación de cada reactivo (Na_2S , H_2O_2 , H_2SO_4 y NaOH). En la Figura 21 se pueden observar las cantidades de cada uno de los reactivos a utilizar en cada una de las etapas de extracción. De acuerdo con los cálculos realizados las capacidades de cada tanque de polietileno de alta densidad serán: 5000 L para el Na_2S 6% (diámetro 1.75 m y altura 2.55 m), 2500 L para el H_2O_2 30 % (diámetro 1.50 m y altura 1.73 m), dos tanques de 200 L, uno para H_2SO_4 10 % y otro para NaOH 50% (diámetro 0.61 m y altura 0.79 m).

5.3.3 Tanques de almacenamiento de agua

A demás de los tanques de reactivos se deberá disponer de un tanque para el almacenamiento y distribución a agua destilada, tanto para la preparación de reactivos como para el procedimiento de lavado durante la extracción de queratina. Tomando en cuenta la cantidad total de reactivos y la cantidad de agua destilada necesaria para realizar el lavado después de la acidificación y la neutralización, el tanque tendrá una capacidad de 10000 L (diámetro 2.32 m, altura 2.82 m), similar al mostrado en la Figura 8. A demás se dispondrá de una bomba eléctrica de 0.5 HP, para el transporte del agua destilada a los tanques de preparación y almacenamiento de reactivos y para abastecer de agua destilada los tanques reactores para el lavado del material.

5.3.4 Tanques de tratamiento de desechos líquidos

Para el almacenamiento de los desechos líquidos que provienen de las etapas de acidificación y neutralización, se plantea incorporar un tanque de polietileno de 5000 litros (diámetro 1.75 m y altura 2.55 m) al sistema, con el propósito de tratar por neutralización principalmente los efluentes provenientes de la etapa de acidificación antes de ser desechados al drenaje.

5.3.5 Tanques de recolecta de queratina

Para la recolecta final de la disolución de queratina se utilizará un tanque de polietileno de alta densidad de 5000 litros de capacidad (diámetro 1.75 m y altura 2.55 m), el cual estará conectado en la parte inferior del segundo tanque reactor.

5.3.5.1 Otros equipos menores

Para el correcto funcionamiento de todo el proceso tecnológico, desde la recepción de materia prima hasta la extracción de queratina, se hace necesaria la utilización de otros equipos menores, como el uso de una balanza para pesar las cantidades de materia prima y el uso de bombas eléctricas para el bombeo de líquidos. Por lo cual utilizaremos una balanza con capacidad máxima de 250 kg y dos bombas eléctricas de 0.5 HP. Además para la interconexión de todo el sistema se deben considerar el empleo de cables eléctricos, paneles y breakers, y otros materiales tales como tubos PVC, tubos T, codos, válvulas, bridas, etc. En las tablas 6, 7 y 8 se muestra una descripción más detallada de los costos de reactivos, tanques, equipos, materiales y accesorios necesarios para el montaje de la red de tubería, sistema eléctrico y estructura de la planta.

5.4 Proceso tecnológico de queratina para un diseño de planta con dos reactores e introducción de reactivos por bombeo.

A continuación se describe todo el proceso tecnológico de extracción de queratina a partir de plumas de pollo. Lo cual incluye desde la recepción y pretratamiento de la materia prima hasta la obtención del producto final (queratina).

5.4.1 Preparación de reactivos

Los reactivos son preparados en los tanques de almacenamientos de reactivos, al agua necesaria para realizar la dilución de éstos proviene del tanque de almacenamiento de agua destilada. A continuación se detallan las cantidades de reactivos y agua destilada necesarias para preparar Na_2S 6%, H_2SO_4 10 % y NaOH 50%. Cabe señalar que el H_2O_2 utilizado en el paso de oxidación es adquirido a la concentración a la que se inyecta al segundo tanque reactor (30 %).

Tabla 5. Preparación de reactivos

Reactivo	Cantidad de reactivo	Volumen de disolución	Concentración
Na_2S	300 Kg	5000 L	6 % (m/v)
H_2O_2 al 30 %	2500 L	2500 L	30 % (v/v)
H_2SO_4 al 96 %	2.08 L	20 L	10 % (v/v)
NaOH	5 kg	10 L	50 % (m/v)

5.4.2 Obtención, lavado y pesaje de materia prima

La materia prima será obtenida de algunos puntos de matanzas de aves antes mencionados así como de algunas industrias o empresas reconocidas.

Una vez que la materia prima llega a las instalaciones de la planta, éstas son colocadas en recipientes de plásticos con suficiente agua, se realiza una agitación manual y ocasional. Una vez realizado esto durante 6 horas, se desecha el agua y se repite el proceso de lavado por dos veces más. Posteriormente las plumas húmedas son extendidas sobre una superficie plana recubierta con un material plástico para propiciar el secado a temperatura ambiente por durante 48 horas. Este proceso de secado se puede realizar en un horno entre 50 – 70 °C. Las plumas secas serán almacenadas dentro de bolsas plásticas.

Las plumas contenidas en bolsas plásticas son colocadas de forma manual sobre la balanza de capacidad máxima 500 kg y son pesadas hasta obtener la cantidad necesaria para alimentar el primer tanque reactor (500 kg).

5.4.3 Diagrama de flujo

A continuación se muestra el diagrama de flujo del proceso de extracción de la queratina a partir de 500 kg de plumas de pollo utilizando dos reactores.

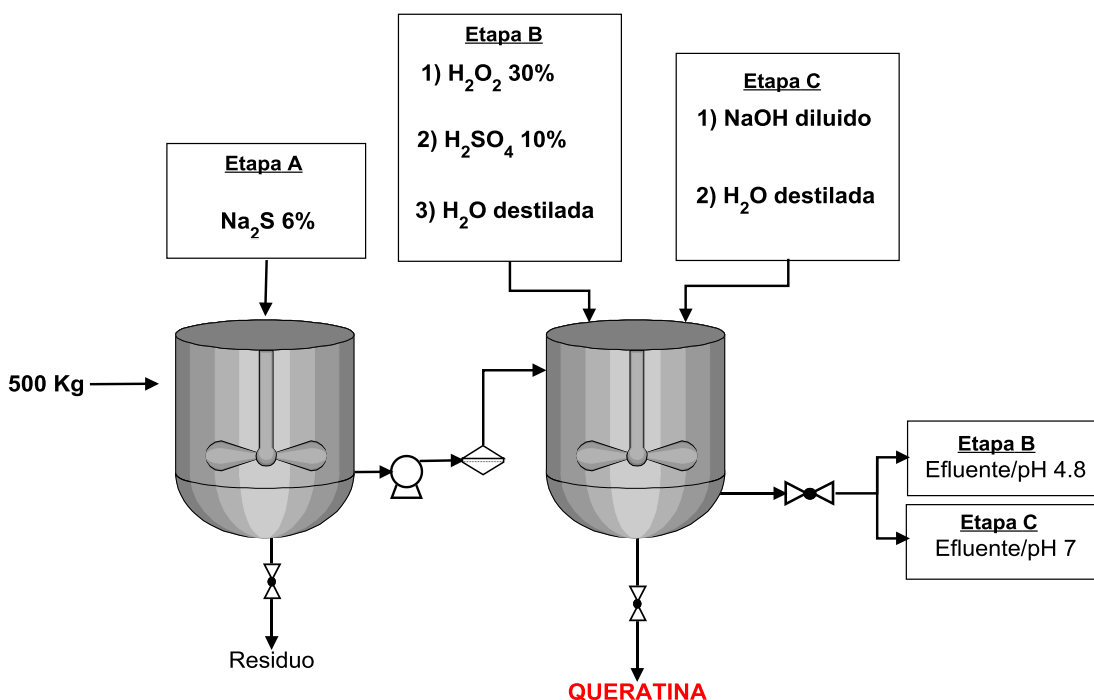


Figura 21. Diagrama de flujo del proceso de extracción de queratina a partir de plumas de pollo empleando dos reactores.

A como se muestra en la Figura 15, el proceso de extracción de queratina consta de tres etapas A, B y C, en dos tanques reactores. Estas etapas consisten en: En la etapa A se lleva a cabo la reducción de los enlaces de sulfuro-proteína por medio de la adición de sulfuro de sodio a los 500 kg de plumas en el primer tanque. La etapa B se lleva a cabo en el segundo tanque reactor, en la cual se realiza una oxidación en medio ácido pH 4.8, esta etapa B concluye con un lavado utilizando agua destilada dándose lugar a la generación del efluente ácido de la etapa B que es recogido en un tanque de recolecta de desechos para su posterior tratamiento. Inmediatamente después de realizado el lavado, se efectúa la etapa C en la cual se lleva a cabo la neutralización de la disolución de queratina, seguidamente se realizan lavados sucesivos con agua destilada, dando lugar a la formación del efluente neutro de la etapa C, el cual es recolectado en otro tanque de recolección de residuos para su disposición final. Una vez finalizadas estas etapas A, B y C, la solución de queratina es obtenida en el segundo tanque reactor y será recogida en un tanque para su almacenamiento.

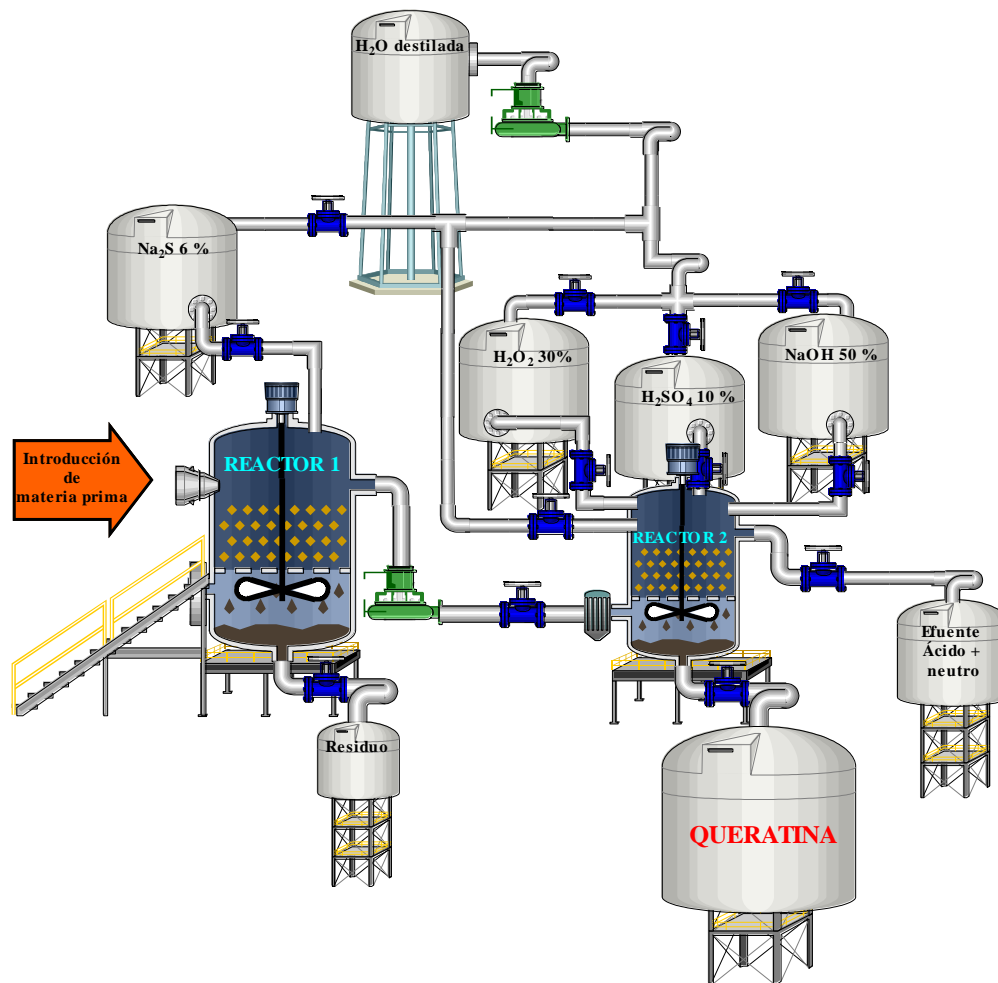


Figura 22. Diseño de la planta piloto para extracción de queratina

5.5 Análisis económico para un diseño de planta con dos reactores e introducción de reactivos por bombeo.

El estudio técnico del proyecto proporciona información básica sobre los costos e inversión del proceso operativo ya que debe contemplar una relación entre el producto, la materia prima y los reactivos que se pueden utilizar. Este estudio reporta:

- Información sobre el proceso productivo y costos de todos los componentes,

- Datos sobre las instalaciones y los equipos que están asociados al proceso productivo y que orientarán sobre las necesidades de inversión,
- Inclusión de sistemas de tratamientos, el reciclaje de los desperdicios y los ingresos o costos que pueda suponer su manejo.

5.5.1 Costos de Reactivos

Además de determinar el costo de la instalación, equipos, materiales y accesorios para la planta piloto, se calculó el costo del consumo de reactivos requerido para el procesamiento de 500 kg de plumas. A continuación en la Tabla 6, se muestra en detalle el costo de la cantidad de cada reactivo a utilizar por cada 500 kg de materia prima (plumas).

Tabla 6. Costo de Reactivos a utilizar en planta con dos reactores

REACTIVOS	Concentración	Cantidad a consumir	Precio en C\$	Precio en US \$
*Na ₂ S	6 %	300 kg	190173.00	6460.84
H ₂ O ₂	30 %	2500 L	207236.84	7040.56
H ₂ SO ₄	10%	2.08 L	594.88	20.21
NaOH	50 %	5 Kg	4000.00	135.89
		Sub total	402004.72	13657.51

*Precio tomado de: <https://www.fishersci.com> . El resto de precios por SINTER (Ver anexos 9.4)

5.5.2 Costos de equipos mayores y tanques

A continuación se describe el costo de los equipos mayores y de los tanques reactores, tanques de almacenamiento de reactivos, agua y desechos.

Tabla 7. Costo de quipos mayores.

Descripción	Capacidad	Precio unit. US\$	Cantidad	Precio en C\$	Precio en US \$
Tanque	10000 L	1805.59	2	106294	3611.18
Tanque	5000 L	856.00	4	100784	3423.99
Tanque	2500 L	428.00	2	25196	856.00
Tanque	200 L	34.24	2	2015.68	68.48
Bascula Ohaus 80501541	250 Kg	3057.99	1	90011.02	3057.99
Mezclador de paleta	-	1490.00	2	87715.4	2980.00
			Subtotal	412016.10	13997.63

Precios tomados de: <https://www.fishersci.com>, <http://www.rotoplas.com>

5.5.3 Costos de Materiales y accesorios

La siguiente tabla muestra en detalle los materiales y accesorios necesarios para realizar el montaje de la planta piloto, estos incluyen tubos de pvc, alambres eléctricos. Válvulas etc.

Tabla 8. Costo de materiales y accesorios en general

Descripción	Precio unitario C\$	Cantidad	Precio en C\$	Precio en US\$
Cemento	260 x bolsa	20	5200	176.66
Arena	270 x metro	3	810	27.52
Piedrín	730 x metro	2	1460	49.60
Hierro 3/8"	770 x quintal	3	2310	78.48
Alambre de amarre	15.65 x libra	5	78.25	2.66
Tubos de 1/4"	100 x tubo	11	1100	37.37
Codos 1/4"	13.04	20	260.8	8.86
Tee 1/4"	14.05	4	56.2	1.91
Válvulas 1/4 "	200	13	2600	88.33
Tarro de pega PVC	69.56	3	208.68	7.09
Teflón 1/2"	10	10	100	3.40
Tubo de silicona	104.35	1	104.35	3.55
Centro de carga 4 espacios CHQ	370	1	370	12.57
Breaker 1x20 Amp	173.91	2	347.82	11.82
Alambre sólido #12 rojo	7.83 x metro	80	626.4	21.28
Alambre sólido #12 blanco	7.83 x metro	80	626.4	21.28
Tubo conduit 1/2 "	12.17	11	133.87	4.55
Unión conduit 1/2 "	2.61	11	28.71	0.98
Curvas conduit 1/2 "	3	20	60	2.04
Conector conduit 1/2 "	2.61	11	28.71	0.98
Caja 4x4 Emp.	14.78	20	295.6	10.04
Tapa caja 4x4	11.30	20	226	7.68
		Subtotal	17031.79	578.63

Precios consultados en ferreterías del mercado local.

5.5.4 Costo total para el montaje de la planta piloto con dos reactores e introducción de reactivos por bombeo.

En la Tabla 8 se muestra un resumen de los costos de los materiales y accesorios, sistema eléctrico, equipos mayores y menores, montaje de estructura, mano de obra, para el montaje de la planta de extracción de queratina a nivel piloto a partir plumas de pollo.

De acuerdo a la Tabla 9, se necesita invertir USD **28913.24** para el montaje de la planta para la extracción de queratina a nivel piloto. Sin embargo, a estos costos se le puede agregar un 20% por imprevistos.

Tabla 9. Costos para el Montaje de la Planta Piloto con un solo reactor

Ítem	Descripción	P/Total (C\$)	P/Total (USD)
1	Reactivos	402004.72	13657.51
2	Equipos mayores y tanques	412016.10	13997.63
3	Materiales y accesorios en general	17031.79	578.63
5	Mano de obra	20000.00	679.47
	Total	851052.61	28913.24

Cambio oficial según el Banco Central de Nicaragua C\$29.4347/USD1.00

http://www.bcn.gob.ni/estadisticas/mercados_cambiarior/tipo_cambio/cordoba_dolar/index.php

En base a la recuperación de queratina obtenida experimentalmente a escala de laboratorio (72%), se ha calculado el volumen que se espera producir de queratina con este diseño, el cual es de 5414.4 L equivalentes. Cada onza de queratina se comercializa a 50 dólares en el mercado local, por lo que se espera obtener USD **9154126.1**. Además la queratina que se comercializa generalmente se encuentra mezclada en una crema base, en nuestro caso será mezclada con un aromatizante líquido para comercializarla en forma de spray (Para planchado de cabello).

5.6 Proceso tecnológico para un diseño de planta con un reactor e introducción de reactivos manual.

Con el propósito de reducir aún más los costos de diseño para la planta piloto, hemos reducido a uno el número de reactores usados. La obtención, lavado y pesaje de la materia prima será el mismo descrito en 5.4.2.

El proceso de extracción consta de las etapas antes mencionadas y los tiempos necesarios en cada etapa son los mismos descritos para el diseño con dos reactores, con la diferencia de que todos los pasos sucesivos de extracción se llevarán a cabo en un solo reactor. De acuerdo con los cálculos realizados tomando como base de cálculo 500 Kg de materia prima las cantidades de reactivos a ser adicionados directamente al reactor conteniendo la materia prima se muestran a continuación en la Tabla 10.

Tabla 10. Cantidades de reactivos a adicionar al reactor

Reactivo	Cantidad de reactivos	Volumen de disolución	Concentración
Na ₂ S	300 Kg	20000 L	6 % (m/v)
H ₂ O ₂ al 30 %	750 L		1.1 % (v/v)
H ₂ SO ₄ al 96 %	1.5 L		10 % (v/v)
NaOH	3 kg		50 % (m/v)

Como se puede observar al adicionar estas cantidades de reactivos en el reactor obtendremos un volumen total de disolución de 20000 L, este volumen total tendrá un incremento debido a la presencia de la materia prima en el reactor, por lo que utilizaremos un tanque reactor de 22000 L de capacidad para procurar que quede el espacio necesario para permitir una buena agitación durante cada una de las etapas del proceso.

El diagrama de flujo del proceso de extracción se muestra a continuación en la Figura 23.

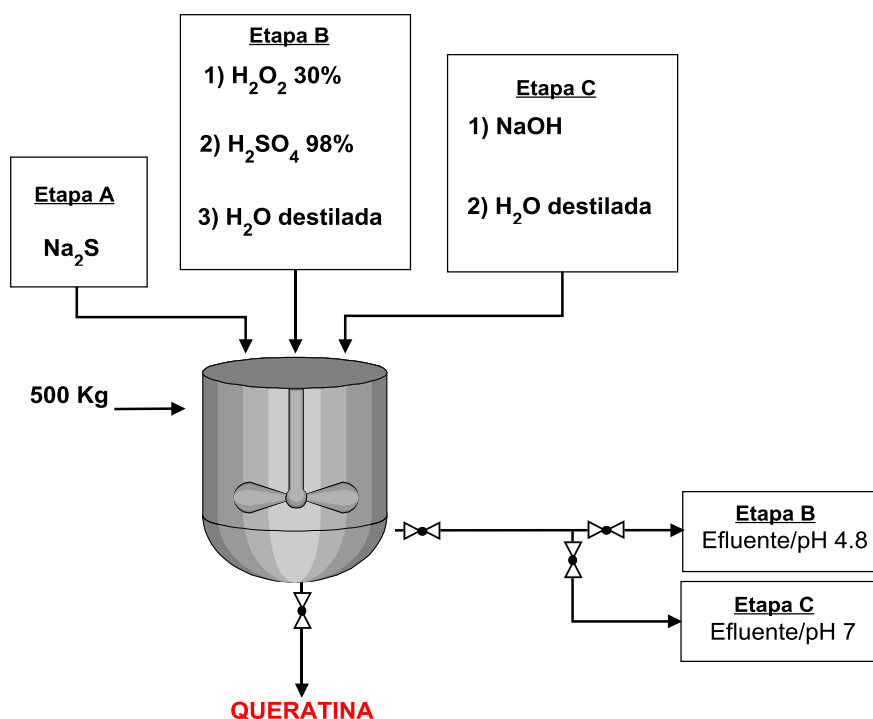


Figura 23. Diagrama de flujo del proceso de extracción de queratina a partir de plumas de pollo empleando un reactor

El proceso de extracción de queratina consta de tres etapas A, B y C, como se mencionó anteriormente. Sin embargo en esta ocasión se ha empleado un solo reactor para todo el proceso: En la etapa A se lleva a cabo la reducción de los enlaces de sulfuro-proteína por medio de la adición con agitación de 300 Kg de sulfuro de sodio a los 500 kg de plumas. Una vez transcurrido el proceso de reducción se continua con la etapa B en la cual lleva a cabo la oxidación en medio ácido pH 4.8, adicionando 750L de H_2O_2 y 1.5 L de H_2SO_4 al 98 %, esta etapa concluye con un lavado utilizando agua destilada dándose lugar a la generación del efluente ácido de la etapa B que es recogido en una pila de desechos para su posterior tratamiento. Inmediatamente después de realizado el lavado, se efectúa la etapa C en la cual se lleva a cabo la neutralización de la disolución de queratina por la adición de 3Kg de NaOH, seguidamente se realizan lavados sucesivos con agua, dando lugar a la formación del efluente neutro de la etapa C, el cual es recolectado

en la misma pila de recolección de residuos de la etapa B, para su tratamiento y disposición final. Una vez finalizadas estas etapas A, B y C, la solución de queratina es obtenida en la parte inferior del tanque reactor para ser colectada en un tanque de 10000 L.

5.7 Análisis económico para un diseño de planta con dos reactores e introducción de reactivos por bombeo.

5.7.1 Costos de Reactivos

A pesar de que la base de cálculo (500 Kg de materia prima) es la misma cuando se usan dos reactores que cuando se usa uno, algunas cantidades de reactivos varían al usar uno u otro diseño de planta, debido a que en el primer caso se preparan los reactivos en tanques individuales los cuales poseen volúmenes variables y en el segundo caso los reactivos son introducidos directamente al único reactor. A continuación en la Tabla 11, se muestra en detalle el costo de la cantidad de cada reactivo a utilizar por cada 500 kg de materia prima (plumas).

Tabla 11. Costo de reactivos para planta con un solo reactor

REACTIVOS	Cantidad a consumir	Precio en C\$	Precio en US \$
*Na ₂ S	300 kg	190173.00	6460.84
H ₂ O ₂	750 L	62171.05	2112.17
H ₂ SO ₄	1.5 L	429.00	14.57
NaOH	3 Kg	2400.00	81.54
	Sub total	255173.05	8669.12

*Precio tomado de: <https://www.fishersci.com> . El resto de precios por SINTER (Ver anexos 9.4)

5.7.2 Costos de equipos mayores y tanques

A continuación se describe el costo de los equipos mayores y del tanque reactor,

Tabla 12. Costo de quipos mayores.

Descripción	Capacidad	Precio unit. US\$	Cantidad	Precio en C\$	Precio en US \$
Tanque	22000 L	3621.53	1	106598.58	3621.528
Tanque	10000 L	1805.59	1	53147	1805.590
Bascula Ohaus 80501541	250 Kg	3057.99	1	90011.02	3057.99
Mezclador de paleta	-	1490.00	1	43857.7	1490.00
			Subtotal	293614.30	9975.11

Precios tomados de: <https://www.fishersci.com>, <http://www.rotoplas.com>

5.7.3 Costos de Materiales y accesorios

La siguiente tabla muestra en detalle los materiales y accesorios necesarios para realizar el montaje de la planta piloto.

Tabla 13. Costo de materiales y accesorios en general

Descripción	Precio unitario C\$	Cantidad	Precio en C\$	Precio en US\$
Cemento	260 x bolsa	20	5200.00	176.66
Arena	270 x metro	3	810.00	27.52
Piedrín	730 x metro	2	1460.00	49.60
Hierro 3/8”	770 x quintal	3	2310.00	78.48
Alambre de amarre	15.65 x libra	5	78.25	2.66
Tubos de ¼”	100 x tubo	4	400.00	13.59
Tee ¼”	14.05	2	28.10	0.95
Válvulas ¼ “	200	4	800.00	27.18
Tarro de pega PVC	69.56	1	69.56	2.36
Teflón ½”	10	4	40.00	1.36
Breaker 1x20 Amp	173.91	1	173.91	5.91
Alambre sólido #12 rojo	7.83 x metro	10	78.30	2.66
Alambre sólido #12 blanco	7.83 x metro	10	78.30	2.66
Tubo conduit ½ “	12.17	5	60.85	2.07
Unión conduit ½ “	2.61	5	13.05	0.44
Curvas conduit ½ “	3	4	12.00	0.41
Conector conduit ½ “	2.61	6	15.66	0.53
Caja 4x4 Emp.	14.78	2	29.56	1.00
Tapa caja 4x4	11.30	2	22.60	0.77
		Subtotal	11680.14	396.82

Precios consultados en ferreterías del mercado local

5.7.4 Costo total para el montaje de la planta piloto con dos reactores e introducción de reactivos por bombeo.

De acuerdo a la Tabla 14, se necesita invertir USD **19312.83** para el montaje de la planta para la extracción de queratina a nivel piloto. Sin embargo, a estos costos se le puede agregar un 20% por imprevistos.

Tabla 14. Costos para el Montaje de la Planta Piloto

Ítem	Descripción	P/Total (C\$)	P/Total (USD)
1	Reactivos	255173.05	8.66.,12
2	Equipos mayores y tanques	293614.30	9975.11
3	Materiales y accesorios en general	11680.14	396.82
5	Mano de obra	8.000.00	271.79
	Total	568467.49	19312.83

Cambio oficial según el Banco Central de Nicaragua C\$29.4347/USD1.00

http://www.bcn.gob.ni/estadisticas/mercados_cambiaros/tipo_cambio/cordoba_dolar/index.php

En base a la recuperación de queratina obtenida experimentalmente a escala de laboratorio (72%), se ha calculado el volumen que se espera producir de queratina con este diseño, el cual es de 14400 L equivalentes. Cada onza de queratina se comercializa a 50 dólares en el mercado local, por lo que se espera obtener USD **24346080**. Además la queratina que se comercializa, generalmente se encuentra mezclada en una crema base, en nuestro caso será mezclada con un aromatizante líquido para comercializarla en forma de spray (Para planchado de cabello).

VI. CONCLUSIONES

- ✚ Se verificó el método de extracción de queratina a partir de plumas de pollo por el método de sulfuros de sodio a nivel de laboratorio. Los resultados obtenidos fueron satisfactorios y están de acuerdo con los obtenidos con por Marín y Hernández (2014).
- ✚ El escalamiento del proceso de extracción de queratina a nivel de planta piloto se realizó en base a 500 Kg de plumas de pollos. La parte medular del proceso consta de tres etapas: reducción, oxidación y neutralización, lo cual nos sugirió realizar el diseño de la planta piloto con tres reactores. Sin embargo para reducir los costos se realizó el diseño de la planta así como el estudio técnico financiero para sistemas que emplean dos tanques reactores y otro que emplea un tanque reactor.
- ✚ En el sistema que emplea dos tanques reactores, se llevará a cabo la reducción con Na_2S en el primer reactor y la oxidación en medio ácido así como la neutralización en el segundo. El sistema constará con un tanque de abastecimiento de agua proveniente de un pozo, así como tanques de almacenamiento de reactivos. Todos los residuos generados como producto del proceso de extracción serán tratados por medio de neutralización antes de su disposición final. La queratina será obtenida como una solución de queratina y será recogida en un tanque interconectado al reactor 2.
- ✚ En el sistema que emplea un solo tanque reactor, todas las etapas se llevaran a cabo en este mismo respetando el orden de las etapas y los tiempos requeridos para cada una de ellas. La introducción de materia prima, así como la de los reactivos se realizará de forma manual y la queratina será obtenida por una válvula en la parte inferior del reactor y será recogida en un tanque de 10000 L.

- ✚ El análisis técnico-económico de la planta piloto para la obtención de queratina se realizó en base a las cantidades gastadas de reactivos para el procesamiento de 500 Kg de plumas, tanques, equipos, materiales y accesorios necesarios para el montaje de la misma, encontrándose que se debe tener una inversión inicial de C\$ **851052.61** (USD **28913.24**) para el montaje de la planta piloto empleando dos reactores y procesamiento de 500 Kg de plumas. Para el diseño empleando un solo reactor se debe tener una inversión inicial de C\$ **568467.49** (USD **19312.83**) Una vez montada la planta piloto los gastos de operación se reducen básicamente a los correspondientes a los costos de reactivos para el procesamiento de 500 Kg de plumas, este es equivalente a C\$ **402004.72** (USD **13657.51**), si montamos la planta con dos reactores y a C\$ **255173.05** (USD **8669.12**), si es montada con un solo reactor. Este costo de reactivos es directamente proporcional a la cantidad de materia prima con la que opere la planta piloto, por lo cual se verá reducido si se decide procesar menos cantidad de materia prima.

- ✚ El sistema que emplea un solo reactor requiere una inversión inicial, así como costo de operación más bajo en comparación con la que emplea dos reactores.

- ✚ La ubicación de la planta se ha propuesto considerando su cercanía con diferentes granjas avícolas lo cual facilitará la obtención de la materia prima.

- ✚ El montaje de la Planta es Rentable ya que en los Primeros 500 kg de plumas procesados se obtendrá la inversión inicial total de la planta y además se obtendrá ganancia.

VII. RECOMENDACIONES

- ❖ Se recomienda utilizar el diseño con un solo reactor para el montaje de la planta piloto ya que requiere de menor inversión en comparación con el diseño con dos tanques reactores.
- ❖ Una vez recuperada la inversión adquirir los reactivos de forma directa sin proveedores, para disminuir costos de envío.
- ❖ Ya instalada la planta reajustar los tiempos de producción de Queratina a un 50%.
- ❖ Mejorar el diseño de la planta después de haber obtenido ganancia por la rentabilidad del producto. se podrá mejorar comprando un mezclador ya adaptado al tanque para mejorar la producción.
- ❖ Los residuos Solido-Líquido del proceso serán neutralizados en un tanque y luego se podrán reprocesar, es decir puede hacerse una recirculación en el proceso para poder ser amigables al medio Ambiente.

VIII. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Anaya-durand, A., & Pedroza-Flores, H. (2008). Escalamiento , el arte de la ingeniería química : Plantas piloto , el paso entre el huevo y la gallina Scaling-up , the art of chemical engineering : Pilot plants , the step between the egg and the hen. *Tecnología, Ciencia, Educación*, 23(1), 31–39.
- ANAPA (2015), Asociación Nacional de Avicultores y Productores de Alimentos. Fecha de acceso: 08 de febrero de 2016. Disponible en URL: <http://www.anapa.org.ni/sectores-productivos/pollo/>
- Bielori, R. (2007). *Nutritional value of feather protein hydrolysate by keratinolytic bacterium vibrio*. *Bio resource Technology*. 98, 3172-3175
- Barone, J.R. (2005). *Extrusion of feather keratin*, *Journal of Applied Polymer Science*, 100, 1432-1442
- Centeno Somarriba, D. (2008). *Estudio del mercado del sector avícola*. Ministerio de Industria y comercio (MIFIC).
- Marín C. y Hernández T., (2014). *Estudio para la obtención de queratina a partir de plumas de pollos con los métodos de sulfuro de sodio y borohidruro de sodio a nivel de laboratorio*. Trabajo Monográfico.
- Ecotank Rotomolding S.A, (2016). San José, Costa Rica. La Casa del Tanque, los especialistas. Fecha de acceso: 30 de enero de 2016. Disponible en: <http://www.tuugo.co.ni/SiteViewer/14200023139>
- García, T. (2010). *Proteínas, El pequeño Larousse ilustrado*. México. pp. 1824
- Isarankura, S., Ayutthaya, N., y Tanpichai, S. (2015). Keratin Extracted from Chicken Feather Waste : Extraction , Preparation , and Structural Characterization of the Keratin and Keratin / Biopolymer Films and Electrospuns. *Journal of Polymers and the Environment*, 23, 506–516. <http://doi.org/10.1007/s10924-015-0725-8>
- Julían Seguí, M. (2010). *Estructura y propiedades de las proteínas*. Máster universitario en ingeniería biomédica. Universidad politécnica de valencia.
- Kenneth Chávez (2014), *Sector avícola va en rápido crecimiento*. fecha de acceso: 08 de febrero de 2016. Disponible en URL: <http://www.elpueblopresidente.com/noticias/ver/titulo:8046-sector-avicola-de-nicaragua-va-en-rapido-crecimiento> .
- Lehninger, A., L., (2005). *Principios de bioquímica*. Cuarta edición. Ediciones Omega.
- Morrison, R. T. Y Boyd, R. N.,(1998). *Química Orgánica*. Quinta edición. Addison Wesley Longman de México S. A. pp. 1323.

- Poole, A. J., & Church, J. S. (2015). International Journal of Biological Macromolecules The effects of physical and chemical treatments on Na₂S produced feather keratin films. *International Journal of Biological Macromolecules*, 73, 99–108. <http://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2014.11.003>
- Salazar cedillo, M. V., (2013). *Determinación del método para la obtención de queratina cosmética a partir de plumas de gallináceas. Tesis de licenciatura. Universidad de Ecuador.* pp. 11 – 18.
- Salinas Salinas, P.D., (2010). *Producción de harina de plumas de pollo y su utilización como un adsorbente de hidrocarburos en agua dulce. Escuela Politécnica del Ejército, Departamento de ciencias de la vida, Ingeniería en Biotecnología. Ecuador.*
- Williams C., (2010). *Gestión de residuos de aves de corral en los países en desarrollo. North Carolina State University. Department of poultry Science. United State of America.*
- Wang, B., Yang, W., Mckittrick, J., & Meyers, M. A. (2016). Keratin : Structure , mechanical properties , occurrence in biological organisms , and efforts at bioinspiration. *JOURNAL OF PROGRESS IN MATERIALS SCIENCE*, 76, 229–318. <http://doi.org/10.1016/j.pmatsci.2015.06.001>

IX ANEXOS

9.1 Etapas de la Obtención de la Queratina a Nivel de Laboratorio.

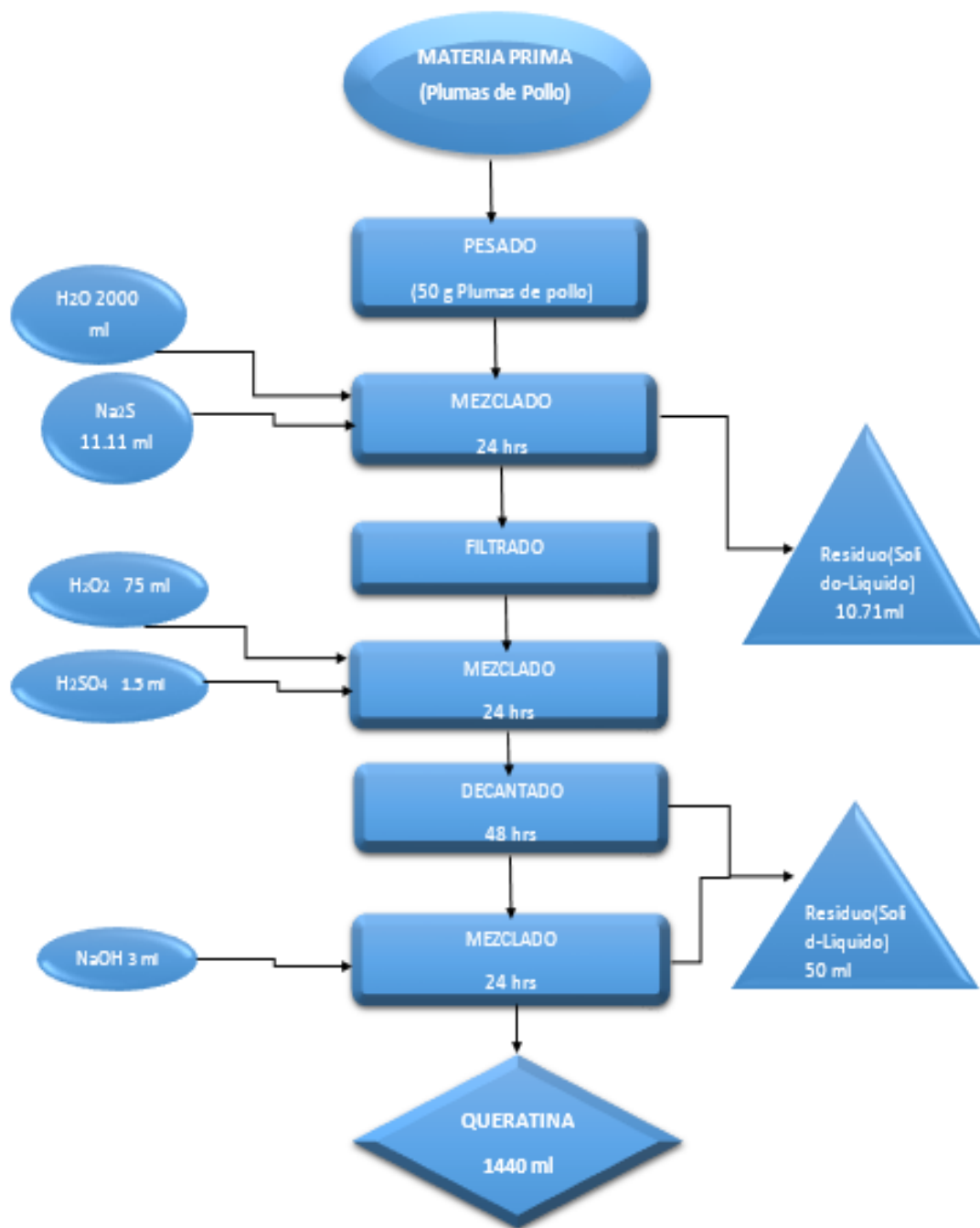


Figura 24. Flujograma de etapas de obtención de queratina

9.2 Etapas de Escalamiento de la Planta Piloto.

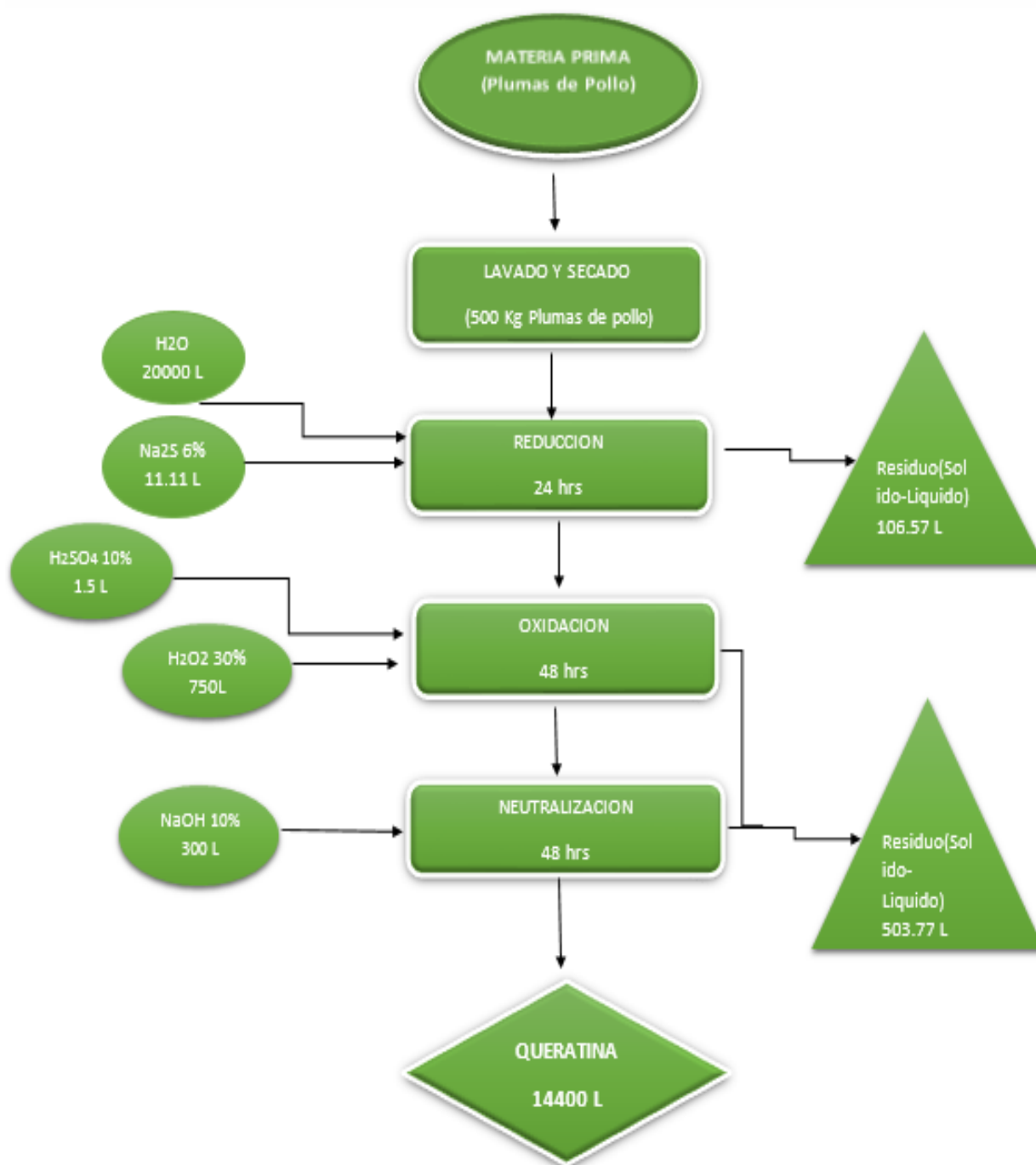


Figura 25. Flujograma de etapas para el diseño de la planta piloto

9.3 El Mejor Rendimiento Obtenido Experimento #4.



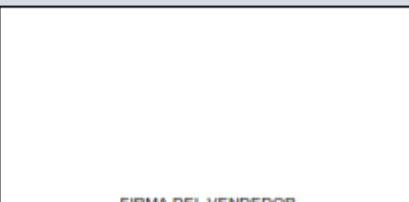
Tabla 15. Condiciones de Optimización Estudiadas y % de Rendimiento Obtenido.

Descripción	Experimentos					
	1	2	3	4	5	6
Tipo de plumas	Gallina de patio	Gallina de patio	Gallina de patio	Gallina de granja	Gallina de granja	Gallina de granja
Masa de plumas	30 g	30 g	30 g	50 g	50 g	5 g
Temperatura	ambiente	60 °C	100 °C	Ambiente	100 °C	Ambiente
Na₂S	30g/ 3000 ml solución	20g/ 2000 ml solución	20g/ 3000 ml solución	30g/ 2000 ml solución	30g/ 2000 ml solución	3g/ 200 ml solución
H₂O₂ 30%	150 ml	133 ml	150 ml	75 ml	70 ml	3.5 ml
H₂SO₄ 10%	1.5 ml	1 ml	2 ml	30 gotas	35 gotas	0.2 ml
NaOH 10%	2.5 ml	2.5 ml	3 ml	3 ml	6 ml	0.5 ml
Rendimiento	69.83 %	33.33 %	17.23 %	72.00 %	70.00 %	66.00 %

9.4 Cotización de reactivos



Cotización de Productos

EMPRESA:				FECHA:	Jueves, 26 de enero de 2017			
ATENCION:	MILEYDI PICADO			REFERENCIA:	040JL-2016			
TELEFONO:				VENDEDOR:	Ing. Juan José López.			
EMAIL:				TELÉFONO:	22780177 EXT 125 CEL 8883-5778			
ITEM	CANT.	CÓDIGO	DESCRIPCIÓN	REFERENCIA	U/M	TIEMPO DE ENTREGA	PRECIO UNITARIO	TOTAL
1	199	NACIONAL	PEROXIDO DE HIDROGENO 30%		GALON	5 DIAS DESPUES DE ORDEN	C\$ 315.00	C\$ 62,685.00
2	1	1.00731.2500	ACIDO SULFURICO 95 - 97 % P.A		2.5 LITROS	INMEDIATO	C\$ 715.00	C\$ 715.00
3	3	1.06498.1000	SODIO HIDROXIDO EN LENTEJA P.A.		1 KILO	INMEDIATO	C\$ 800.00	C\$ 2,400.00
CONDICIONES DE OFERTA								
TIEMPO DE ENTREGA:	SEGÚN DETALLE						SUB TOTAL	C\$ 65,800.00
FORMA DE PAGO:	CREDITO 30 DIAS TRAMITE DE CHEQUE A NOMBRE DE SINTER S.A						IVA	C\$ 9,870.00
NOTA IMPORTANTE:	NO EFECTUAMOS RETENCIONES IR/M SOMOS GRANDES CONTRIBUYENTES.						TOTAL	C\$ 75,670.00
VALIDEZ DE OFERTA:	30 DIAS							
CREDITO:	30 DIAS							

*Precio valido por cantidad ofertada en cotización. Documento estrictamente confidencial para el cliente designado en la cotización. SINTER se reserva los derechos de atención por mal uso y/o proliferación de nuestra información